

# علوم الأرض

- طرق حفر الدبار
- التراكيب النولية في
- الصخور الرسوبية
- جغرافية القبة السماوية

خديجة أحمد عبيد

- الطبقات الديفونية
- الصخور النارية
- العاقات المتبادلة بين الطبقات
- النبات والوحش
- الكتل القارية المستقرة ومناطق
- الضعف الجيولوجية في المستقرة



[www.darsafa.net](http://www.darsafa.net)









﴿ وَقُلْ أَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

## علوم الأرض

(الطبقات الجيولوجية، طرق حفر الآبار، السهول النارية، الكتل القارية المستقرة  
ومناطق الضغط الجيولوجية غير المستقرة، التراكيب الأولية في السهول الجيولوجية،  
الطوائف المتعاقبة بين الطبقات، جغرافية القبة السماوية، التيارات والفيضانات)



# علوم الأرض

- ◀ الطبقات الديفونية
- ◀ طرق حفر الآبار
- ◀ الصخور النارية
- ◀ التراكميب الأولية في الصخور الرسوبية
- ◀ العلاقات المتبادلة بين الطبقات
- ◀ جغرافية القبة السماوية
- ◀ النبيت والوحيش
- ◀ الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة.

إعداد

خديجة أحمد عبید

الطبعة الأولى  
2009م - 1430هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

**علوم الأرض 2 (الطبقات النيفونية، طرق حفر الآبار، الصخور**

**النفطية، الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف**

**الجيولوجية غير المستقرة، التراكيب الأولية في الصخور**

**الرمادية، العلاقات للتبادل بين الطبقات، جغرافية**

**النفطية المسالمة، التهيئة والوحش)**

**تأليف : خديجة احمد عبيد**

**حقوق الطبع محفوظة للناسر**

Copyright ©

All rights reserved

**الطبعة الأولى**

**2009 م - 1430 هـ**



**دار صفاء للنشر والتوزيع**

**عمان - شارع السلط - مجمع النعيم التجاري -**

**تلفاكس +962 6 4612190**

**ص.ب. 922762 عمان - 11192 الاردن**

**DAR SAFA Publishing - Distributing**

**Telefax: +962 6 4612190 P.O.Box: 922762**

**Amman 11192- Jordan**

**<http://www.darsafa.net>**

**E-mail : [safa@darsafa.net](mailto:safa@darsafa.net)**



## الفهرس

7.....	المقدمة
9.....	الفصل الأول: الطبقات الديفونية
21.....	الفصل الثاني: طرق حفر الآبار
41.....	الفصل الثالث: الصخور النارية
	الفصل الرابع: الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف
69.....	الجيولوجية غير المستقرة
107.....	الفصل الخامس: التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية
161.....	الفصل السادس: العلاقات المتبادلة بين الطبقات
193.....	الفصل السابع: جغرافية القبة السماوية
203.....	الفصل الثامن: النيت والوحش
235.....	المراجع



## المقدمة

الحمد لله الذي هدانا إلى الإسلام، وجعلنا من أمة محمد عليه الصلاة والسلام، أمة (أقرباً).

وبعد:

لم تزل دار صفاء للنشر والتوزيع، تحت الحُطَا على درب التقدم العلمي، والرقى الحضاري، بسيرها على نهج العلماء، وتعاملها مع نتائجهم الفكرية الرائدة. وآلت على نفسها، أن تقدم لأعزائها الطلبة، ما يروي غليلهم من الاستزادة من ينابيع العلم الثروة التي لا ينضب لها معين.

وكما رفدتهم بكتب الرياضيات الحديثة، والأحياء والكيمياء، والفيزياء، فإنها تفخر اليوم، بأن ترفدهم بكتب علوم الأرض.

لقد خلقت دار صفاء في فضاءات علوم الأرض، فارتأت أن تشحذ همم أبنائها بكل ما هو نافع ومفيد، فقطعت من حداثق أزهارها أبهجها، وترسّمت نموّ المفاهيم العلمية، وصولاً إلى أحدث ما توصل إليه العلماء، بعقولهم الناضجة، وأفكارهم النيرة، من دراسات واكتشافات واختراعات، بهدف غرس منهجية التفكير العلمي لدى الطلبة، وتوسيع مداركهم إلى أبعد حدود المواضيع الدراسية المقررة عليهم. فاضفت بذلك إلى المكتبات العربية رونقاً جديداً من كتب علوم الأرض التي توفر على الطلبة والمهتمين الوقت والجهد في البحث عن ضالّتهم من المعلومات.

ذلك أن كتب علوم الأرض التي أصدرتها دار صفاء للنشر والتوزيع، قد اتسمت بالشمولية، وتضمنت صفحاتها ما يحتاج إليه الطالب في دراسته، وإعداد تقاريره وأبحاثه.

ولم نزل على طريق العلم، والتفجر المعرفي.  
 ( ريتا لا ترغ قلوبنا بعد إذ هديتنا، وهب لنا من ليلتك رحمة، إنك  
 أنت الوهاب ).  
 وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

التأشير



## الفصل الأول

# الطبقات الديفونية





ذات النسيج الوعائي الأصيلة في الديفوني (*Psilophytales*) وهذه هي أيضاً أقدم النباتات المعروفة.

ومن وجهة النظر الجغرافية القديمة (شكل 1) فإن الجين الاسكندنافي، الذي توسع بفضل الالتواءات الكاليدونية، قد أصبح الآن ملتحمًا بقارة الأطلنطي الشمالي، كما توضحت معالم البحر المتوسط الشرقي أكثر فأكثر (بحر تيتيس *Thetys* وميزوجيه *Mesogee*).

وراحت التضاريس الكاليدونية تتخرب تدريجياً وتشكلت على حساب أنقاضها (صخور الحث الحمراء القديمة)، وهو تشكل صحراوي يصادف في انكلترا الشمالية وفوق الجين الكندي والجين البلطي اللذين يحتلان موضعاً مناظراً للنهائيتين المتقابلتين من قارة شمال الأطلنطي الكبرى. وعلى هذا الأساس وجب أن تكون الأوضاع الجغرافية والمناخية التي تحققت في هذه المنطقة الواسعة منسجمة جداً.

ويكون الديفوني متشراً بشكل فريد في الأردن (شمال شرق فرنسا) وفي هذه المنطقة تم اقتباس نماذج الطوابق الرئيسة:

الديفوني الأعلى:

فامني (شبيست *Famenne* ذو *Spirifer Verneuilli*).

فراسني (شبيست وكلس *Frasnes* ذو *Orthis*, *Atrypa reticularis*

*(Striatule Gephyroceras intumescens)*.

الديفوني الأوسط

جيفيقي (كلس *Givet*، ذو وحيش مرجاني، *Stringocephelus Burtini*

و *(Uncites gryphus)*.

إيفيلي (شبيست وصخور كلس *Couvin* وإيفيل ذو *Calcecola*

*(Spirifer Cultrijugatus, Sadaline)*.



## الديفوني الأسفل

كوبلنسي (شيس Coblenze، حث ذو *Athyris undata*).

جيديني (شيس Gedinne، ورصيص فيان).

## 2. التوزع الجغرافي.

## 1. منطقة الحث القديم الأحمر أو سحن الديفوني القارية.

يعرض الديفوني نفسه في هذه المنطقة التي تضم الجزر البريطانية، باستثناء الجنوب، والجن البلطي، على شكل حث لاغوني أو صحراوي سميك جداً يكاد يكون أفقياً. وهذه المنطقة، التي ظلت مستقرة منذ الالتواءات الكاليدونية، هي التي تمثل حقاً السلسلة الكاليدونية.

ويتم الانتقال من السيلوري البحري إلى الديفوني شبه القاري بواسطة طبقات انتقالية مختلطة، حيث تتداخل السافات البحرية الصرفة ذات رخويات وقصيرات الأرجل مع الطبقات اللاغونية ذات الأسماك المدرعة والعقريات *Gigantostrea* والسافات ذات الهياكل العظمية. ويطلق على هذا المجموع من الطبقات حالياً اسم داونتوني *Downtonian* والتي تعتبر كأساس للديفوني.

أما بالنسبة لصخور الحث القديمة الحمراء فتظهر أجمل انكشافاتها على ساحل إيرلندا الجنوبي، وفي جنوب وجنوب شرق بلاد الغال، جبال شفيوت (شكل 2)، ولولاند *Lowlands* ونهاية الهايلاند وكذلك في جزء أوركاد وجنوبي خليج فنلندا... إلخ. وليست كل هذه الانكشافات، التي تبدو أحياناً صغيرة الرقعة، أكثر من مزقات غطاء كان في السابق شديد الاتساع والذي عمل الحث على تهديمه والذي كان يغطي قارة فسيحة. وتكون هذه الصخور الرملية (الحث) الشديدة السماكة والوردية اللون، صفراء أو خبازية *Mauve*، صفاحية ومندمجة دائماً مع رصيصات، ومع مارتيات وحتى مع تكوينات حاوية على الملح (جبس، ملح صخري). ويكون التطبيق فيه متصالياً على الغالب، كما أن الوحش الذي نجمده فيه، فريداً جداً ومن غط مفتقر: عقريات

Gigantostraces، أسماك مصفحة ولامعات Ganoide بدائية هي Holophptychius. وتتحول صخور الحث الحمراء القديمة باتجاه الجنوب، جانياً إلى الديفوني البحري. وقد قادت كل هذه الصفات الجيولوجيين إلى اعتبار هذا الحث الأحمر القديم كشكالات رملية عتيقة شبه صحراوية سبق لها أن تكدست فوق قارة واسعة على حافة البحر الديفوني، والذي كان تحمها مشخفاً على الخصوص بنهاية إيرلندا الجنوبية الغربية وبلادالغال وبالمطقة المحصورة بين ليفونيا (ساحل روسيا على البلطيق) والبحر الأبيض (الحافة الجنوبية الشرقية للمجن الكندي). وتكون هذه المناطق، التي تتداخل فيها السحن الحثية والسحن البحرية على قدر فريد من الأهمية لإقامة التزامن بين الزميتين.



شكل (2) مقطع لجبال شفوت (نورثمبرلند) (غوتشيلد) ويظهر منه الوضع الستراتيغرافي لصخور الحث الحمراء القديمة

ب. المنطقة ذات السحنة المختلطة البحرية في أوروبا الوسطى.

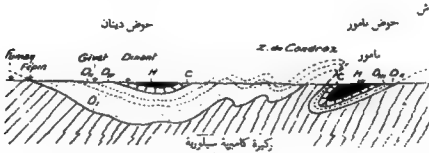
أ. الأردنين: تلك هي منطقة تقليدية (غوسليه)، كما سبق ورأينا، لدراسة الديفوني الفرنسي - البلجيكي (شكل 3). فالديفوني الأسفل الطاغبي Transgressif يكون فيها حطامياً ومؤلفاً من حث ورصيص (بودينغ) بينما يكونه الديفوني الأعلى شيسياً على الغالب. ويرقد المجموع المتتوي (التواءات هيرسينية) بتنافر فوق السيلوريب. إذن تكون الأردنين عبارة عن كسرة من السلسلة الكاليدونية تلفقتها الالتواءات الهيرسينية خلال الكاربونيفير. وكانت في خلال الديفوني تابعة للحافة الجنوبية من قارة الحث الأحمر القديم وتكون التوضعات المتعاقبة طغيانية فوق هذه الركيمة من الجنوب باتجاه الشمال.

ولما كانت هذه المنطقة تابعة للمكتلة الشيسية الرينانية الكبرى فهو يبدو كبقعة واسعة من صخور قديمة تتخذ شكل هلال يطفو في وسط الصخور القديمة. ويتوزع الديفوني فيها حسب الطريقة التالية، من الشمال إلى الجنوب، وفي عناصر تكتونية متعاقبة. ففي محذب برابات Brabant حيث تظهر الركيزة السابقة للديفوني antedevonien، فإن الديفوني الأوسط والأعلى هما الوحيدان المعروفان. وكذلك الحال في الجنوب، ضمن حوض نامور السنكلينالي الفسيح (شكل 4). وهناك سطح كبير من الجرف Charriage يفصل هذه المنطقة عن الثانية أو منطقة كوندروز الذي يعرض نفسه كمحذب مصدوع سيلوري محفوف من الشمال بالديفوني الأوسط أو الأعلى، ومن الجنوب بالديفوني الأسفل. هذا ويحوي حوض دينان السنكلينالي ديفونيا كاملاً على حافته. وأخيراً فإن رقعة الآردين الآتيكليينالية، التي تُولف القسم الأعظم من هذه المنطقة الطبيعية، تكون مؤلفة أساساً من ديفوني أسفل بحري تظهر من تحته بعض العروات Boutonnieres من صخور أقدم (كامبرو - سيلوري) مؤلفة بقاءً آتيكليينالية صغيرة كمناطق وركوا، جفون، سربون، ستافولو.

هذا ويكون الديفوني نامياً جداً على الحافة الجنوبية لمقر دينان ويعرض مقطعاً تقليدياً على طول وادي نهر الموز: وهنا يبدأ الجيديني Gedinien المتناثر فوق الكامبري، برصيص Fepin المغطى بآركوز هايب Haybes ومن فوقه تأتي صخور شيست موندروبيوي Mondrepais، ثم شيست واين Oignies المبرقش ذو مصفحات الجلد Placodermes القريبة من سمك القرش.

ويبدأ الكوبلنسي هنا بحث أنور Anor، المتبوع بغروواك Montigny مع سافات شيستية غنية جداً بالمستحاثات (ثلاثية الفصوص وقصيرات الأرجل) (كوبلنسي أسفل أو سيفيني Siegenien) ثم تأتي صخور حث وشيست فيرو Vireux، وأخيراً غروواك هيرج Hierges الشديد الغنى بالمستحاثات (كوبلنسي أعلى أو إمسي Emsien).

ويتشكل الإيفيلي Eifilien من شيست ذي عدسات كلسية (صخر كلس كوفان).



شكل (4) مقطع تبسيلي للصخور الديفونية والكاربونيفيرية في حوضي دينان ونامور. حسب مجرى وادي الموز (D)، ديفوني أسفل. D' ديفوني أوسط. D'' ديفوني أعلى. C، ديناني. H، وستغالي.

وتمثل الجيفيتي Givetien بصخور كلس جيفيه Givet ذات الوحيش الرصيفي الجميل.

ويكشف الفراسي، في قاعدته، عن شيست وصخور فراسن Frasne الكلسية مع عدسة من كلس رصيفي كثير المستحاثات، ثم تأتي صخور شيست

صرفة تظهر فيها أوائل أشباه الأمونيات (*Gephyroceras intumescens*) (شيست Matagne).

ويعرض الفاميّ هنا نموذج من شيست فامن *Famenne*.

وهناك تغيرات هامة في السحنة تستحق التنويه بها في مجال منطقة الأردن. وهكذا نجد باتجاه الجنوب؛ أي في المنطقة الواقعة إلى الجنوب من كتلة مرتفعات سربون، أن الجيديني والكوبلنسي يصبحان شيسيتين كلياً، أما باتجاه الشمال، فعلى العكس، يصبح الديفوني ذا ثغرات وساحلياً (بساميت فوز *Foos*، وهيس سافات برونو *Brunot* الخشنة بالنسبة للديفوني الأسفل، وبساميت كوندروز في الفاميّ، ثغرة الديفوني الأسفل في حوض نامور، وحتى في الإيفلي عند حافة محذب برابان، حيث يبدأ الديفوني بالجيفي مع رصيص القاعدة).

ب. الكتلة الشيسيتية الرينانية: تمتد الكتلة الأردنية في اتجاه الشرق بالكتلة الشيسيتية الرينانية، حيث يكون الديفوني بدوره، كثير الانتشار ونال دراسة إضافية. ولا يزال الجيديني، الحثي - الشيسيتي، غير معروف تماماً، في حين يكون الكوبلنسي واسع الانتشار وتمّ تقسيمه فرعياً إلى طابقين: سيفيني *Siegenien* في القاعدة (غروواك، شيسيت وحث سيفين *Siegin*، الشديد الغني بالمستحاثات، كوارتزيت تاونوم وشيسيت هونسروك)، والإيمسي *Emsien* في الأعلى (غروواك كوبلنسل الشهير بغناه بوحيشه). هذا وقد ضُمَّرت السحن الحطامية خلال الديفوني الأوسط في الوقت الذي بدأت تظهر للوجود السحن الكلسية ولا سيما في موقع إيفل *Eifel*، بينما كانت طبقات الشيسيت العميقة ترسب في مقر هس *Hesse* مع عضويات بيلاجية (بحرية عميقة) (المجسّيات *Tentaculites*) ورؤاسيات الأرجل (نطاقات تقليدية لـ *Goniates*) وعلى كل حال تستمر السحن الحطامية، إلى الشمال من سوويرلند؛ أي عند الاقتراب من قارة الحث الأحمر القديم، تستمر السحن الحطامية (حث أحمر) وذلك في معقدات شيسيتية (شيسيت لين *Lenne*).

ويتشكل الفراسني من صخور كلسية مارنية ذات رأسيات الأرجل (مارنيات ذات غونياتيت *Goniatites* بيريتية تشكل نطاقات تقليدية، و *Gephyroceras* شيست ذي استراكودا *Ostracodes* وذئ غونياتيت (نوع *Cheiloceras*)، وينتهي بصخور كلسية شبه لوزية ذات *Clymenies*. ولنصف أن الديفوني الأوسط والأعلى في هذه المناطق الرينانية يحتوي على طف بركاني وعروق طبقية من دباباز، كما يحوي الديفوني في الكتل الميرسينية من أوروبا (هارز وبوهيميا) سحناً مائلة جداً للسحن التي سبق أن لاحظناها قبل قليل في المناطق الرينانية.

جـ. بولونيه *Boulonnais*: تمثل هذه المنطقة التي تمتد حوض نامور نحو الشمال الغربي، إذن، عودة صخور الأردين القديمة للظهور بعد تلاشيها في هذا الاتجاه تحت الطبقات الكريتاسية. ويكون الديفوني فيها، شأنه في حوض نامور، ساحلياً وغير كامل (فيبدأ بالجيفيتي بحالة رصيص كافيه *Caffiers* ويستمر بكلس بلاكور *Blacourt* الرصيفي). وتظهر في القمة السحنة الحثية الحمراء.

د. بريتانيا: هذا ويظهر الديفوني الكامل في مقعري لافال وشاتولان على الخصوص. أما في المقعرات الأخرى، فإن الأساس ينعدم في أكثر الأحيان، وهكذا نجد أن الزمرة تبدأ في مقعر أنجيه *Angers* بالكولنسي، مثلما تبدأ في مقعر آنسنيس *Ancenis* بالإيفلي. هذا ويكوف الساف الأكثر تميزاً في مقعر لافال - شاتولان مؤلفاً من كوارتزيت بلوغاستل *Plougastel* (فينستير) والذي يمثل الجيديتي، وتأتي من فوقه بالتعاقب صخور الكلس الكولنسية، ثم صخور شيست تسمح مستحاثاته بالتعرف على بقية الديفوني، ولا سيما الفاميئي (شيست ذو *Cypridines* وغونياتيت). وتجدر الإشارة إلى أن الديفوني في مقعر نيهو *Nehou* لا يشمل سوى على الكولنسي الأسفل (كوارتزيت وكلس حيواني المنشأ في نيهو، في شبه جزيرة كوتنتان).

وهكذا فإن قصة هذا الديفوني البريتاني تبدو على قدر من التعقيد بفعل تزعزح البحر الذي تم من الشمال باتجاه الجنوب.

جـ. الديفوني ذو السحنة العميقة (المقعر الرومي أو المتوسطي).

وهي سحن شيستية أو كلسية وحلية، استحالية أحيانا، وملتوية على الدوام (سلسلة هيرسينية) وفي حالة استمرارية بالترسب مع الطبقات الأقدم والأحدث. ويصادف هذا النمط على الخصوص في الجبل الأسود (بريتانيا) وفي الماسيف سنترال، وجبال اليرينييه، والفوج، وجبال الألب الشرقية، وسردينيا والمغرب، وكل المناطق التي يتحقق فيها الوضع الجيوسنكليتي.

أ. الجبل الأسود: ونجد في ديفوني هذه المنطقة كل الصفات التي عدناها قبل قليل. فعند الأساس نجد الحث والدلومي (جيدني) ثم تأتي بعدها صخور كلسية حيوانية المنشأ ذات ثلاثيات الفصوص وقصيرات الأرجل (كوبلنسي - إيفيلي). وتبدأ سحنة الصخور الكلسية الوحلية الدقيقة بالجيفيتي (صخور كلسية بيضاء في قمة بيسو Bissous ذات غونياتيت). وأخيرا فإن الديفوني الأعلى يستمر بسحناته الكلسية، التي تصبح مائلة للحمرة ولوزانية amygdalaires (مرمر - غويوت) والتي لا يضم وحيشها سوى غونياتيت، وعند القمة تماما، مستحاثات Clymenies العائدة للقاميني الأعلى.

ب. جبال الفوج: يمكن دراسة هذا الديفوني في الزمرة الاستحالية المسماة الديفونية الديناتية ولا سيما في وادي بروش وفي غران باللون. وفي الموقع الأول يتألف من مركب مؤلف من حث ناري فتاتي Pyroclastique ومن شيست تحتوي، قرب شيرمك Schirmeck، على مرمر مرجاني مجبول بمستحاثات الديفوني الأوسط.

جـ. المغرب: يكون الديفوني في الميزيتا Miseta (أواسط المغرب) كاملا وفي حالة استمرار ترسب مع السيلوري. ويتألف في الأساس (ديفوني أسفل) من شيست ذي عدسات كلسية ومن غروواك ذي ثلاثيات الفصوص. وتظهر السحن الكلسية الرصيفية في الديفوني الأوسط (كلس ذي بوليبيات

Stromatopores). وثم، وفي الديفوني الأعلى، تبدو السحن الشبكية العميقة ذات رأسيات الأرجل وقد اجتاحت المنطقة.

وتبدو كتلة الجبيلات، في شمال مدينة مراكش، وكأنها تشكل عتبة خلال الديفوني الأسفل - الأوسط، لأن الديفوني لا يتمثل فيها إلا بصخور كلسية ويكوارتيزيت فراسي - فاميتي.

ونعثر على ديفوني، متناظر مع ديفوني الميزتا، في الأطلس الكبير، وفي حالة استمرارية مع الغوتلندي، وهو كامل بلا ريب. ولكن الديفوني الأسفل هو الوحيد الذي تم الكشف عنه حتى الآن في الأطلس الصحراوي.

ولكي نعثر على ديفوني كامل وحاو على المستحاثات علينا أن نذهب حتى الصحراء الكبرى الشمالية الغربية، وهنا أيضاً، تصبح السحن عميقة تدريجياً في الزمان، لأنها عبارة عن حث ذي ثلاثيات الفصوص في الديفوني الأسفل، ثم تأتي صخور كلسية وشيست في الديفوني الأوسط، وأخيراً صخور شبكية وكلسية ذات غونياتيت Clymenies وهي التي تختتم الزمرة.

ونعثر في جبال الأورال على سحن جيوسنكلينالية ديفونية تتحول تدريجياً إلى سحن بحرية خاصة بالسطيحة الروسية Plateforme.

أما في أمريكا فإن الديفوني يشاهد فيها على الخصوص في الجبال الصخرية، وفي السلاسل الباسفكية، وعند حافة الجبن الكندي. وتدل طبيعة التوضعات على أن البحر قد طغى تدريجياً على القارة الأمريكية من الشرق إلى الغرب ومن الجنوب نحو الشمال خلال الديفوني الأوسط والأدنى ومن الشمال الغربي خلال الديفوني الأعلى الذي يتهي في كل الأمكنة، بتشكلات حثية جسيمة. ونعثر على الحث القديم الأحمر الصرف عند حافة القارة الكبرى لشمال الأطلسطي (برنسويك الجديدة، مع وحشيات من أسماك مدرعة تذكرنا بمشلاتها في أوروبا (قارة الحث الأحمر القديم).





## الفصل الثاني

### طرق حفر الآبار



## الفصل الثاني

### طرق حفر الآبار

توجد طرق مختلفة لحفر الآبار نظراً للتفاوت في الطبيعة الجيولوجية للتربة ما بين الصخور الصلبة مثل الجرانيت والدولوميت إلى الرواسب غير المتماسكة مثل الرمال والزلط والطين. في كثير من الحالات يكون استخدام طريقة معينة هو السائد في أماكن محددة نظراً لقدرتها على اختراق الخزان الجوفي وبذلك تحقق وفراً في التكاليف. وفي حالات أخرى تتغير طريقة الحفر طبقاً للعمق وقطر البئر ونوع التربة المخترقة والاشتراطات الصحية والاستخدام الرئيسي للبئر. ولهذا فإنه لا توجد طريقة مفضلة لكل الظروف الجيولوجية. الحفر الناجع هو فن ناتج عن الخبرة الطويلة والاستخدام السليم للأداء الهندسي.

تشمل إنشاءات البئر 4-5 عمليات وهي الحفر، وضع المصفاة، وضع المصفاة والظهير الزلطي وعند الحاجة وضع التحشية الأسمتية (Grouting) لتوفير الحماية الصحية، بالإضافة إلى تنمية البئر لتأكيد الخلو من الرمال عند أقصى إنتاج. يمكن تنفيذ 2-3 من هذه العمليات في نفس الوقت طبقاً لطريقة الحفر المستخدمة. فمثلاً عند الحفر في التربة غير المتماسكة بطريقة الحفر خلال دافع القيسون (Drill Through Casing Driver)، فإن القيسون يركب مع تقدم الحفر. أما عندما يكون الدفع للمصفاة تنفذ ثلاث عمليات سوياً، فتح الحفر، إنشاء القيسون ومصفاة البئر.

طرق وأساليب الإنشاء متعددة. الحدود العملية لمعظم طرق الحفر تتوقف على الظروف الجيولوجية. سيتم الإشارة إلى بعض طرق الحفر.

### طريقة الحفر بالكابل (Cable Drilling Method):

تعتبر طريقة الحفر بالكابل هي أقدم طريقة لحفر الآبار ابتكرها الصينيون منذ أكثر من 4000 سنة حيث استخدم الكابل والدق (Percussion) حيث أمكن حفر بئر لعمق 615 متراً واستغرق الإنشاء عقدين أو ثلاثة. تسمى ماكينة الحفر بالكابل تجهيزة النقر أو الدق (Percussion Rigs) وتعمل بتكرار الرفع والخفض الكابل الثقيل لآلة الحفر في ثقب الحفر شكل (1-5) قطعة الحفر تفتت الصخور الصلبة كما تعمل على تفتيت التربة غير المتماسكة. وفي كلا الحالتين عملية النقر الترددية تعمل على خلط مواد التربة المفككة بالماء مكوناً روية (Slurry) في قاع الحفر. وفي حالة عدم وجود ماء في التربة الجاري اختراقها يضاف الماء ليكون الروية تراكم الروية يزداد مع زيادة الحفر وكذلك خفض الارتطام لأدوات الحفر. عندما يكون معدل الحفر غير مناسب تزال الروية على فترات من الحفر بواسطة طلمبة أو بالترشح (Sand Pump or Bailer) شكل (1-5)

معدة كابل الحفر الكاملة تتكون من خمسة مكونات:

- لقمة الحفر Drill Bit.
- عامود الحفر Drill Stem.
- أزراع ومجرى تحرير قطعة الحفر Drilling Jars.
- قطعة دوارة على قاعدة ثابتة Swivel Socket.
- الكابل Cable.

لقمة الحفر لمعدة كابل الحفر عادة ضخمة وثقيلة ليتمكنها تفتيت وخلط كل مواد التربة. عامود الرفع يضيف ثقلاً إلى لقمة الحفر وطوله يساعد على استمرار استقامة الحفر عند الحفر في صخور صلبة. تتكون أزراع ومجرى تحرير لقمة الحفر (Drilling Jars) من عامودين صلب معالج منفصلين. عند ارتطام لقمة الحفر فإنها يمكن أن تتحرر معظم الوقت بانزلاق أزراع التحرير لقمة الحفر لأعلى حيث إنها حرة الحركة، مشوار أزراع الانزلاق للقمة الحفر 9 إلى 18 بوصة. قطعة

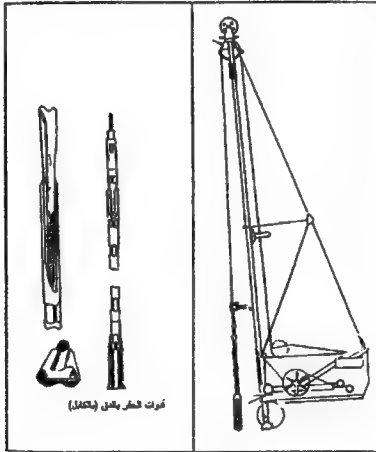
الدوران على القاعدة الثابتة (Swived Socket) توصل منظمة الحفر بالكابل، بالإضافة إلى أنها تضيف بوزنها إلى طاقة الرفع للأزرع عندما يكون ذلك ضرورياً. وهي كذلك تنقل دوران الكابل إلى الأجزاء وإلى لقمة الحفر مما يمكن من تكسير لصخر جديد مع كل مشوار لأسفل وبذلك يتحقق حفر دائري ومستقيم. مكونات الأجزاء مقلوطة مع بعضها.

سلك الكابل الذي يحصل ويعمل على دوران أجزاء الحفر يسمى خط الحفر. وهو بقطر  $\frac{5}{8}$  إلى 1 (بوصة) وهو يلف وصلة الأجزاء عند كل مشوار لأعلى بما يمنعها من التفكك. خط الحفر ملفوف على بكرة (لها حلزوني في الدوران الكامل) أعلا الصاري وأسفل صاري الحفر (Spudding Sheane) إلى صاري القاعدة، ثم إلى خط التشغيل لقاعدة الدفع شكل (1-5) بكرة الرفع مجهزة بفواصل على أسطوانة البكرة ليكون خط التشغيل على جانب وخط الاحتياط على جانب. دلو الترح يستخدم لإزالة الروية أو الصخور يتكون من ماسورة مجهزة بمحبس عدم رجوع عند القاع (محبس قدم). دلو الترح متصل بكابل يسمى خط الرمال. وقد تستخدم طلمبة الرمال أو دلو السحب (Suction Bailer). الدلو مجهزة بمكبس حيث الدفع العلوي للمكبس يعمل على إبعاد تفريغ الذي يفتح المحبس وامتصاص الرمال والروية على الماسورة. معظم طلمبات سحب الرمال بطول 3 إلى 6.1 متر.

خصائص الحفر لأعلى ولأسفل لماكينه الكابل يرجع إلى الكرة المتحركة تتركز على محور من جانب والجانب الخرجي يتحرك لأعلى ولأسفل بذراع أو بذراعين توصيل متصل بعامود إدارة. وضبط المشوار الراسي وعدد المشاوير في الدقيقة يمكن ضبطه بتجهيزات خاصة.

يوجد خط كابل لدفع القيسون والمصفاة والطمبة....الخ.

ماكينة كابل الحفر لها حدود بالنسبة لعمق الحفر وقطر الحفر. فمثلاً بالنسبة للقطر الصغير يمكن أن يزداد العمق. يمكن منع احتكاك القيسون أثناء الإنزال باستخدام سائل الحفر خارج القيسون أثناء الحفر. عند حفر الآبار فإن ماكينة الكابل يمكنها الحفر لعمق من 300 قدم إلى 5000 قدم (91.5 متر - 1520 متر). في حالة الحفر في تربة متماسكة لاستخدام القيسونات في كل أو في أجزاء من الحفر. وفي بعض الحالات يتناقص قطر القيسون وكذلك قد يتناقص قطر المصفاة مع زيادة العمق وطبقاً لنوع التربة، عندئذ يتم إنزال القيسون أو المصفاة بالطريقة التلسكوبية.



شكل (1-5) ماكينة الحفر بالكابل ومكوناتها

### الحفر الدوار المباشر (الحفر المحوري) Direct Rotary Drilling:

استخدمت طريقة الحفر المحوري لزيادة سرعة الحفر وزيادة عمق الحفر في معظم أنواع التربة شكل بحفر البئر بواسطة أداة القطع الدوارة (Rotating bit)

وتزال تربة القطع باستمرار بتدوير سائل الحفر مع احتراق أداة القطع الدوارة للتربة أداة القطع متصلة بالنهاية السفلى للماسورة الحفر، والتي تنقل الحركة الدورانية من الآلات إلى أداة القطع. في طريقة الحفر المحوري المباشر يتم ضخ سائل الحفر خلال ماسورة الحفر ثم يتدفق السائل إلى أعلى في المسافة بين الحفر وماسورة الحفر حاملاً معه ناتج الحفر عالقاً بسائل الحفر إلى حفرة تجمع سائل الحفر وتدويره بعد ترسيب ناتج الحفر في حفرة مستطيلة. ثم يعاد ضخ سائل الحفر من نهاية حفرة الترسيب أو من حفرة ترسيب ثانية وقد تستخدم أحواض تجمع في حالة الآبار الضحلة.

قبل عام 1920 نوع الحفر الدوار الذي يستخدم كان يستخدم القيسون نفسه كماسورة حفر وكانت هذه العملية تسمى الدوار (Whirler). وكانت النهاية السفلى للقيسون مزودة بنهاية قطع ذات قطر أكبر قليلاً من قطر القيسون. نهاية القطع تعمل على قطع وتفتيت التربة مع دوران الماسورة. استخدام الماء المضغوط داخل الماسورة لرفع ناتج الحفر إلى السطح. وكانت تستخدم الطفلة والطمي من الموارد المحلية لقفل الفتحات في جدار الحفر ولاستمرار التدوير. كانت هذه الطريقة مناسبة لحفر الآبار الصغيرة والضحلة حيث التربة خالية من الكتل الصخرية.

في آبار المياه يستخدم الحفر الدوار نوعين من لقم الحفر وهما الجرافة (Dragbit) (زيل السمكة) وتستخدم في التربة غير المتماسكة والشبه متماسكة أو قطعة الحفر التي تستخدم في التربة غير المتماسكة والشبه متماسكة أو قطعة الحفر التي تستخدم في التربة المتماسكة فهي الدوارة أو القمعية. تصنع لقم الحفر الدوارة إما من أسنان من الصلب من أشكال مختلفة وفواصل مختلفة وأطوال مختلفة ليتمكن لكل سنة تشكيل ضغط على نقطة مختلفة من قاع الحفر مع دوران لقمة القطع. أسنان الأقماع القريبة من بعضها متداخلة بما يمكن من النظافة الذاتية. الأسنان الطويلة وذات فواصل كبيرة تستخدم في التربة الطفلية اللينة أما الأسنان القصيرة المتلاصقة تستخدم للتربة الصلبة مثل الدولوميت والجرانيت والبازلت....الخ.

لقمة الحفر ثلاثة الأقماع (Tricone bit) تستخدم في كل أنواع التربة. كما توجد أشكال أخرى من لقم الحفر. سطح القطع للقم الحفر تسلط عليه نافورة من سائل الحفر والذي يعمل على التبريد والتنظيف من نواتج الحفر وفي التكسير وهذا السائل يسلط على لقمة الحفر من داخلها.

يستخدم موسع (Reamer) لتوفير الاستقامة والنظافة والتوسيع لقطر الحفر، وهذه عبارة عن مقطع من ماسورة الحفر بطول 3 إلى 6.1 متر ذات سطح مقوى من أعصاب (rib) راسية مقساة أو من فلنجات ملحومة على مقطع قصير من ماسورة الحفر ما بين لقمة الحفر والمثبت (Stabilizer).

لقمة الحفر تكون متصلة بالنهاية السفلى لماسورة الحفر والتي تمثل عامود إدارة أسطواني طويل. سلسلة الحفر تتكون عادة من أربع أجزاء وهي لقمة الحفر قفيز حفر أو أكثر والذي يسمى المثبت (Stabilizer) وأطوال من ماسورة الحفر، ماكينة تشغيل على قاعدة ومجموعة حركة التشغيل بالدوران والخفض والرفع لماسورة الحفر وتسمى كيلي (Kelly) شكل (5/2) والتي تكون ذات مقطع سداسي أو مربع أو حلزوني.

وميزة الحفر بالدوان المباشر هي سرعة الاختراق في جميع أنواع التربة بالإضافة إلى أقل كم من القيسونات أثناء عملية الحفر وكذلك سهولة إنزال المصفاة كجزء من إنشاءات القيسون ولكن التشغيل يحتاج إلى مهارة فائقة وخبرة بالإضافة إلى التكلفة العالية للحفر بهذه الطريقة.

#### سوائل الحضر:

تنظيم استخدام سوائل الحفر أساسي لتوفير كفاءة الحفر الدوار. يلزم توافر تجانس بين قطر الحفر، قطر ماسورة الحفر، نوع لقمة الحفر، امكانيات الضخ، خصائص سائل الحفر طبقاً للظروف الجيولوجية في موقع الحفر. سوائل الحفر تشمل الهواء والماء النقي ومخلوط من مواد أخرى. استخدام سوائل الحفر يحقق الآتي:

- رفع ناتج الحفر من قاع الحفر إلى السطح حيث حفرة الترسيب المستطيلة.



- تثبيت وسند حائط الحفر ومنعه من الانهيار (Caving).
  - دهان حائط الحفر لحفض الفقر في السائل.
  - تبريد وتنظيف لقمة الحفر.
  - يوفر الترسيب لنتائج الحفر في حفرة الترسيب.
  - تشحيم لقمة الحفر، كراسي التحميل، طلمبة الطفلة، ماسورة الحفر.
- تعتمد لزوجة السائل وقدرته على حمل ناتج الحفر على عدة عوامل بحيث تكون سرعة ارتفاع السائل في الحفر من 30 إلى 45 متراً في الدقيقة. تزداد قدرة سائل الحفر على حمل الحفر كلما زادت اللزوجة وزادت السرعة.
- سائل الحفر يمنع انهيار قطر الحفر بسبب الضغط على السطح الخارجي لقطر الحفر. طالما ان الضغط الهيدروستاتيكي للسائل يزيد عن ضغط التربة فإن قطر الحفر يظل مفتوحاً. الضغط عند اي عمق يساوي وزن عامود سائل الحفر فوق هذه النقطة.
- في التربة الغنية بالطفلة يمكن بدء الحفر باستخدام المياه النقية الذي يختلط بسرعة مع الطفلة الطبيعية في فتحة الحفر مكوناً طبقة رقيقة من الطفلة. والماء النقي يستخدم في هذه الحالة في الجزء العلوى من قطر الحفر ولعمق حتى 30 إلى 90 متراً. وللمحافظة على الضغط الهيدروستاتيكي واللزوجة المناسبة تتم إضافات إلى سائل الحفر من طفلة ذات نوعية جيدة أو بلمرات مخلقة. بعد تمام الخلط لسائل الحفر وتمازج تميوه (Hydration) يتم تدويره في قطر الحفر باستخدام مضخة الروبة (Mud pump). يتم اختيار طاقة الطلمبة بما يحافظ على ثبات سرعة السائل لأعلى وتستخدم لذلك مضخة طرد مركزي أو مضخة الكباس (Piston pump).



شكل (2-5) عمود الحفر الدوارة

#### الحفر العكسي بالهواء Inverse drilling:

تعتبر هذه الطريقة تحديثاً لطريقة الدوران المباشر ذات الحركة العلوية حيث يضاف الهواء خلال استخدام ماسورة 6 بوصات داخلية وماسورة تخريم بقطر  $5\frac{7}{8}$  بوصة بها قناة لمرور الهواء. هذه المعلقة تسمح بيشق الهواء المضغوط إلى القنوات الهوائية خارج ماسورة التخريم ثم إلى مسائل التخريم مع تحركه إلى أعلى داخل

ماسورة التخريم شكل (3-5). وبهذا فإن سائل التخريم وناتج الحفر يتم رفعهم إلى السطح بمساعدة الهواء داخل الماسورة الدليل 6 بوصات (ماسورة التخريم).

باستخدام هذه الطريقة يمكن زيادة طاقة التخريم في حفر آبار ذات قطر كبير. حيث يمكن عمل قطر حفر حتى 20 إلى 30 بوصة بطريقة روتينية كما يمكن عمل عمق حفر أكبر من 30 إلى 60 متر في التربة غير المتماسكة. الأقطار أقل من 12 بوصة لا يوصى بحفرها نظراً لأن القطر الخارجي لماسورة الحفر هو 9 بوصات.

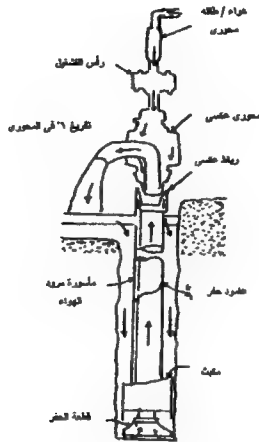
ضغط الهواء المستخدم هو 125 رطلاً على البوصة المربعة بمعدل 0.1 متراً مكعباً في الثانية. عند هذا الضغط يكون أقصى عمق لعامود الحفر هو 76.2 متراً وفي حالة زيادة العمق يتم تجهيز ماسورة الحفر ذات القنوات الهوائية فوق ماسورة الحفر التقليدية حتى أي عمق أكبر من 76 متراً. تستخدم في هذه الطريقة طلمبة الطرد المركزي طلمبة المكبس (Piston Pump) ذات قطر وطول المشوار 4×3 أو 6×5.

مميزات طريقة الحفر العكسي بالهواء هو إمكان الحفر بأقطار كبيرة والسرعة العالية للاختراق في التربة غير المتماسكة واستخدام سائل الحفر لرفع ناتج الحفر وزمن التنمية قليل أما سلباتها فهي زيادة التكاليف وزمن الحفر كبير في حالة الآبار العميقة.

#### الحفر بالبثق (التدفق) Jet Drilling:

توجد طريقتان لإنشاء الآبار باستخدام تيار ماء على السرعة في خطة الحفر. أحد هذه الطرق هو بنظام التفريق تيار ماء (Jet Percussion System) للفجر حيث إنه يمكن استخدامها لحفر أقطار محدودة من 3-4 بوصات ولعمق حتى 61 متراً. أما الآبار ذات الأقطار الكبيرة ولعمق أكبر من 61 متراً تستخدم لها طرق أخرى.

أدوات الحفر في نظام النقر يبتق تيار الماء تتكون من قطعة حفر في شكل أزميل (Chisel) مثبتة في الجزء السفلى لماسورة الحفر. الثقوب على اجناب قطعة الحفر تعمل كنافورة لضغط المياه (بثق) والذي يحافظ على نظافة قطعة الحفر وفي الوقت نفسه العمل على تفكك التربة الجارى حفرها. تضخ المياه تحت ضغط متوسط إلى مرتفع خلال ماسورة الحفر إلى خارج لقمة الحفر. ماء الحفر عندئذ يتدفق إلى أعلى في الفراغ المحيط بماسورة الحفر، حاملاً معه ناتج الحفر في شكل مواد عالقة إلى سطح الأرض حيث يتدفق في حفرة ترسيب أو أكثر لترسيب المواد العالقة. يتم سحب المياه مرة أخرى بواسطة طلمبة سحب (Suction) وتدويرها خلال ماسورة الحفر. نظام دورة السائل يشبه الحفر المباشر بالدوران. مع استمرار تدوير المياه فإن قطعة الحفر والقضبان ترفع وتسقط مثل حالة الحفر بالكابل ولكن المشوار أقل. القيسون المجهز يقدم دفع يسقط مع تقدم الحفر. يتم استخدام إضافات لسائل الحفر. تستخدم هذه الطريقة لحفر الآبار ذات الأقطار الصغيرة في التربة الحاملة الرملية وكذلك التربة شبه المتماسكة وكذلك المتماسكة إلى حد ما.



شكل (3-5) الحفر العكسي بالهواء

نوع آخر من الحفر باستخدام مواسير ذات قطر صغير مستقد له قاع مفتوح ليتمكن غوصه في الرمال باستخدام غسيل المياه من دون أى وسيلة حفر. وهناك طرق أخرى كثيرة لحفر الآبار ولكن الشائع منها في مصر هي الطرق الآتية:

#### 1. الطريقة اليدوية:

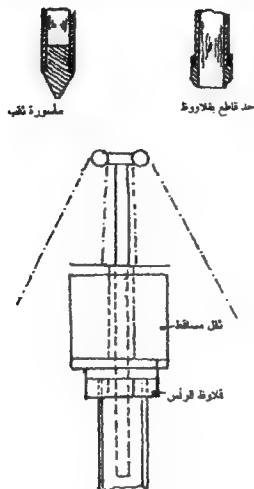
وهذه الطريقة هي الشائعة في مصر وتستعمل في حفر الآبار التي لا يزيد قطرها عن 8 بوصات إلى عمق حوالي 80 متراً من سطح الأرض في هذه الطريقة تستخدم طريقة القيسونات المتداخلة على أن يكون قطر القيسون الأخير أكبر من قطر الحفر بما لا يقل عن 6 بوصات وذلك لإمكان تنفيذ الغلاف الزلطي قبل

رفع القيسون. يتم خفض قطر القيسون بحوالي بوصتين بعد كل حفر بعمق 30-40 متراً شكل (4-5)

تستخدم في الحفر البريمة القلاووظ في حفر التربة الطينية المتماسكة والبلف في حفر التربة الرملية وهذا البلف يسمح بدخول ناتج الحفر إلى داخله ولا يسمح بخروجه.

ويستعمل وصلة التكسير في تفتيت التربة الصلبة التي تعيق استمرار الحفر. بعد امتلاء البريمة أو البلف بناتج الحفر ترفع إلى خارج قطر الحفر لتفريخها ثم يعاد إنزالها بعد زيادة طولها بخط المواسير لاستمرار وزيادة عمق الحفر. بعد الوصول إلى العمق المطلوب يتم إنزال مواسير البئر داخل قطر الحفر وذلك عند سحب قيسون الحفر تدريجياً إلى أعلى. مملاً الفراغ الخارجي بين جدار الحفر ومواسير السحب للبئر والمصافي وذلك بالزلط الفينو حول المصافي تعلوه طبقة من الرمل النظيف الخشن بطول 1 متر تعلوها طبقة من المونة الأسمتية حول السطح الخارجي لماسورة السحب للبئر وذلك لمنع وصول الملوثات من المياه السطحية إلى المياه الجوفية.

وعادة لا يزيد معدل الحفر اليومي بالطريقة اليدوية عن عشرة أمتار وهذا من أهم عيوب هذه الطريقة.



شكل (4-5) آبار المواسير

## 2. طريقة الحفر بالدق:

تستخدم هذه الطريقة في حفر الآبار التي يتراوح قطرها بين 8 إلى 15 بوصة والتي يصل عمقها حتى 100 متر ويستعان فيها بالآلات البكر والقص والونش. وهذه الطريقة تشبه طريقة الحفر اليدوية من حيث القيسونات حيث يستعمل بلف يناسب القطر الخارجي للقيسون المستخدم وقاعه من خوص الصلب المتعامدة وذات حافة حادة تستطيع بمعاونة ثقلها أن تخترق الطبقة الطينية وتفتتها وتحولها إلى روبة والتي ترفع بلف آخر لعدم الرجوع (حيث تدخل الروبة ولا تخرج) ثم يستكمل العمل بنفس الطريقة المتبعة في الحفر اليدوي.

## تفويص الآبار

ويشمل الآبار ذات الأقطار الكبيرة والآبار ذات المواسير.

### الآبار ذات الأقطار الكبيرة:

تنشأ الآبار ذات الأقطار الكبيرة (Dug Wells) بالحفر وإخراج الناتج، وتبطن غالباً إما بمباني من الطوب أو مجديد الزهر أو الفخار المزجج وذلك لمسافة حتى 3 أمتار تحت سطح الماء. وعند تبطينها بالطوب يراعى ألا يقل السمك عن طوبة واحدة وبمونة قوية من الأسمنت، ويكون الطوب بطبقات طولية وعرضية بالتبادل.

### تفويص الآبار ذات الأقطار الكبيرة:

وهي الطريقة الأكثر استعمالاً في تفويص الآبار حيث يتم حفر جزء من الأرض أولاً بمساحة البئر وتوضع داخل خنزيرة مستديرة من الخشب القوى، أو الحديد أو الصلب بالمقاس والسمك اللازم للبطانة. ولها حافة رأسية بالداير الخراجي وأحياناً يتم عمل الخنزيرة من الخرسانة المسلحة والحديد بدلاً من الخشب وتكون ذات حد قاطع ويتم تسويتها أفقياً بعناية ثم توضع المباني من الطوب فوقها حتى تصل بها إلى السطح. يراعى وضع الطوب في طبقات أفقية ليتمكن التحميل المنتظم للخنزيرة وذلك مع بياض حوائط البئر من الخارج لتقليل الاحتكاك عند التفويص يستمر البناء إلى أن يصل إلى عدة أقدام فوق سطح الأرض ثم يحفر داخل البئر إلى عمق يتراوح ما بين 2-3 أقدام بكامل المساحة الداخلية للبطانة، حيث تصبح الأخيرة محملة بالاحتكاك على الجوانب وعلى الأرض التي تحتها، يراعى إزالة التربة تحت الخنزيرة بعناية حتى تنزل الخنزيرة وما فوقها من مباني إلى مستوى الحفر. أثناء ذلك يتم البناء بالطوب الذي يساعد بنقله على إنزال الخنزيرة والمباني إلى أسفل. يجب العناية بإجراء هذا التفويص بانتظام حتى يسهل إنزال البئر رأسياً، كما يجب الحفر على طبقات قليلة العمق. في حالة انهيار جوانب الحفر أثناء التفويص عندئذ يتم ملء الفراغات السفلى



التي قد توجد حول المباني بالخرسانة مع دكها جيداً وذلك عند الانتهاء من عملية التفويض. قد تكون المباني من الخرسانة المسلحة وتربط الخنثزية في المباني الطوب بمجواب رأسية عبارة عن أسياخ تسليح قطر  $1/2$  أو  $3/4$  بوصة على مسافة حوالي المتر من بعضها في دايـر البئر، وطول الأسياخ 5 أمتار تربط بمدماك كامل من الخرسانة سمكه حوالي 0.15 إلى 0.2 متر، ومنه تبدأ أسياخ رأسية أخرى مشابهة لسابقتها بين مداميك الطوب. وقد تستعمل مواسير حديدية بدلاً من المباني الطوب وتكون بأطوال 6 أقدام، يتصل بعضها ببعض بأطواق داخلية ومسامير مقلوطة. بذلك يبقى السطح الخارجي أملس بما يسمح بالإنزال خلال التربة. يكون لهذه المواسير نهاية سفلية حادة ليسهل اختراقها للتربة. في حالة عدم هبوط الماسورة يتم تحميلها بوضع طبليـة على أربع كمـرات طولية من مقاس كبير وثمانية عرضية لتوزيع حمل الطبليـة ثم تحمل الطبليـة بأكياس الرمل لتفويض البئر أثناء الحفر داخلاً.

أحياناً توضع فتحات جانبية في دايـر البئر في المباني السفلى بطول 10 أو 15 متراً (Pigeon Holes) تكون مفتوحة النصف طوية الخارجية والتي تستمر في جميع المحيط الخارجي. تبنى النصف طوية الخارجية بمونة أسمتية خفيفة تساعد على مرور المياه في العراميس حول البئر لتصل إلى الفتحات الموصلة إلى داخل البئر وفي هذه الحالة لا يقل سمك عن طويتين أو طوية ونصف يلاحظ سد الفتحات من الداخل بقطع خشبية ملفوفة بقلقاط مقطرن يزال بعد الانتهاء من تفويض البئر وإتمام العمل.

ولزيادة التصرف توضع مصافي أفقية عددها حوالي 12 قطراً كل منها 3-4 بوصات في دايـر البئر ومن أسفله لمسافات مناسبة لزيادة إيراد البئر. في هذه الحالة يجب ألا يقل قطر البئر عن 4 أمتار لإمكان استخدام جهاز ضغط المواسير والمعروف باسم (Ramney). ويكون القاع أصم اعتماداً على المدادات ذات المصافي. يبلغ إيراد الماء اليومي من بئر بقطر 4 أمتار حوالي 90 ألف متر مكعب.

بعد إتمام نظافة البئر توضع بداخله فرشاة زلطية (زلط فينو) لتحافظ على عدم نزح الأرضية مع المياه وعدم حدوث تصدعات للبئر.

### الآبار ذات المواسير:

الآبار ذات المواسير تنشأ عادة بدق مواسير حديدية رأسياً من سطح الأرض، وتستخدم أدوات تحريم خاصة مع إخراج الناتج إلى السطح تفوض هذه الآبار إذا كانت بقطر صغير بالطاقة الناتجة عن سقوط ثقل من المواسير الموصلة رأسياً شكل (4-5) والتي إما أن تكون ذات نهاية صماء مدببة الطرف في حالة المواسير ذات الأقطار 3 بوصات فأقل أو ذات قاطع مستدير ومجوف. وفي كلتا الحالتين الجزء الأسفل من المواسير على ثقوب عديدة لإدخال الماء من الطبقة الحاملة. يجرى تغويص المواسير في الأرض بسقوط ثقل يرفع على حامل ثم يسقط على رأس الماسورة (المقلوطة) والتي في نهايتها العلوية طاقية لوقايتها من تأثير الدق. تستخدم مواسير من الصلب بوصلات مقلوطة بأطوال من 6 أقدام وقطر 4 بوصات عادة. يتم إنزال الماسورة أولاً بالدق ثم تزال المواد من داخلها إلى المواسير ذات الأقطار أكبر من 2 بوصتين بواسطة أدوات خاصة بذلك والتي تصل بقضبان مربعة من 1-2 بوصتين بواسطة القلاووظ وكذلك تستخدم هذه الأدوات لأقطار المواسير أكبر من ذلك. وإزالة المواد من داخل الماسورة يمكن أخذ عينات من التربة وعينات من المياه على أعماق مختلفة ويكون لكل بئر سجل خاص (Well Log). تكرر عملية الدق بعد تنظيف المواسير من الداخل. عند مصادفة المواسير ذات الطرف السلفي المدبب عند نزولها لتربة صلبة، عندئذ يتم سحب الماسورة للخارج وإعادة دقها مع تكرار ذلك حتى يمكن تكسير الجزء الصلب وإنزال الماسورة في حالة الماسورة ذات الحرف السفلى القاطع الأجوف يتم تكسير الأرض الصلبة بإنزال أدوات تكسير الصخر داخل الماسورة. تجهز أدوات التنظيف في حالة التعامل مع الأراضي المبتلة بصمامات قدم (Foot Valve) لمنع سقوط التربة منها عند رفعها لأعلى.

وتستخدم آلات على عربات متحركة مجهزة بصارى الذي يطوى أثناء سير العرب، وفي موقع العمل يرفع لتعليق البكرة والحبال الخاصة بدق البئر والتي تصنع من أسلاك الصلب المجدول والذي يساعد على دوران الحبل دورة خفيفة في كل دقة بما يعمل على المحراف قطعة التكسير انحرافاً بسيطاً في نفس الاتجاه بما يعمل على انتظام الحفر والتكسير.

يجب أن يكون الدليل رأسياً تماماً والذي هو عبارة عن ماسورة قياسون تستعمل دليلاً لخط الحفر المثل من صارى الماكينة.

ويبدأ تشغيل خط الحفر مع تغيير معدل الضربات في الدقيقة وطول المشوار الذي يصله في كل ضربة وذلك بالتحكم في الذراع المتحرك لآلة الحفر. يتراوح عدد الضربات ما بين 25، 65 في الدقيقة الواحدة تبعاً لنوع الطبقة التي يعمل فيها الكاسور. تستعمل عملية الدق وإطالة حبل الحفر ثم إزالة المواد المفتتة وهكذا إلى أن يصل البئر إلى العمق المطلوب.

#### الآبار ذات القيسون:

يستعمل القيسون لتفويص الآبار وهو عبارة عن مواسير من الصلب بطول 3-5 أمتار ولها وصلات عبارة عن صلب مقلوطة وتكون بقطر يزداد بوصات عن القطر الخارجي لماسورة السحب. يتم تفويص القيسون رأسياً بطريقة التحميل والحفر داخله بأدوات حفر أو بطريقة الدق على طاقية خشبية تركب على المواسير أثناء الدق والحفر داخلها.

يتم إنزال القيسون بطريقة شائعة الاستعمال لبساطتها وهي أن يتم عمل حفرة 2 × 3 أمتار وبعمق 2-3 أمتار طبقاً لما يسمح به عمق مياه الرشع والطبقة الصلبة التي تتحمل الدكم والكمرات الحديدية وتثبيتها وتركيب القلاووظ قطر 2 بوصتين (الفتيل) وبواسطة الجلب والصواميل يمكن الضغط على القيسون للتفويص حتى 40-90 طناً.

وكذا يمكن عكس الاتجاه للفيتل للرفع وذلك للضغط على الدكم العلوية لرفع القيسون وللحفر داخل القيسون بواسطة إنزال البلف (Shell). البلف قطعة أسطوانية حافظتها السفلى لولية حادة وعند إنزالها تغرز في التربة حيث تدخل داخلها المواد الطينية أو الرملية، ويتكرر هذه العملية تملئ الأسطوانة ثم ترفع لتنظيفها وتكرر العملية حتى يصل الجزء المحفور إلى منسوب حوالي 50 سم تحت منسوب أسفل القيسون، عندئذ يضغط على القيسون بالفيتل القلاووظ ثم يتم تكرار هذه العملية حتى يصل القيسون إلى العمق المطلوب.

ويراعى أخذ عينات من التربة أو الماء أثناء التفويض وذلك عند عمق كل متر أو عند التغير في التربة أو عند العثور على طبقة صخرية يستعمل الكاسور (Cross Chisel) للتكسير ثم تزال المواد بالبلف.

وتستعمل أحياناً طريقة التحميل بأكياس الرمل لمساعدة القلاووظ في ضغط القيسون. قبل رفع القيسون يتم إنزال المصفاة ثم ماسورة السحب (غير المثقبة) ثم يتم البدء في رفع القيسون بالرفع بضغط القلاووظ (عفريته). يتم ملء الفراغ حول المصفاة بالظهير الزلظى التنظيف والمعقم. يلي ذلك إنزال طبقة من الطين الأسوانلى لمنع مرور المياه السطحية إلى الظهير الزلظى. ومع سحب القيسون يملأ الفراغ حول ماسورة السحب بالمونة الأسمتية لمنع مرور المياه السطحية الملوثة.

وأحيانا تستعمل المثاقب اللغافة وهي أسرع وأقل في التكاليف حيث تصل السرعة إلى 20-40 لفة في الدقيقة طبقاً لنوع الصخر ولا يتجاوز الضغط على القاطع أكثر من 1/2 طن.

ولزيادة الإيراد من المياه من الآبار يتم إنشاؤها على خط عمودي على اتجاه سير المياه الجوفية.



الفصل الثالث

## الصخور النارية



## الفصل الثالث

### الخصور النارية

الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية:

تشكل الصخور النارية بخصائص طبيعية متعددة، البعض منها يمكن أن يساهم في عمليات تمييز الصخور النارية عن غيرها من المجموعات الصخرية الأخرى ويلاحظ أنه من الصعب أن نتخذ خاصية واحدة كأساس لتقسيم الصخور النارية إلى مجموعات مختلفة بل يحسن أن يعتمد التقسيم على عدة خصائص طبيعية مجتمعة. وتتلخص الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية فيما يلي:

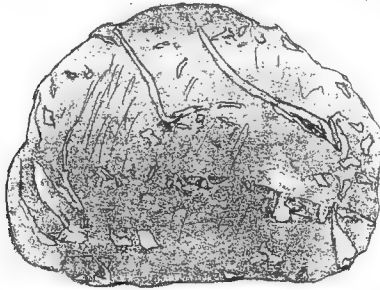
#### 1. اللون:

تختلف ألوان الصخور النارية من صخر إلى آخر. ومن الصعب أن يتخذ اللون فقط كأساس لتصنيف الصخور النارية وتمييزها ذلك لأن هذه الصخور ذات ألوان متعددة. فبعض الصخور النارية فاتحة اللون Light - coloured. في حين هناك بعض الصخور النارية الأخرى تتميز بألوانها الداكنة - Dark coloured وفيما بين هاتين المجموعتين نلاحظ مجموعة ثالثة متوسطة تختلف ألوانها بين الألوان الرمادية والحمراء.

#### 2. الثقل النوعي:

إذا فحصنا الصخور النارية من حيث اختلاف ثقلها النوعي يتبين أن بعضاً منها يتميز بأن ثقله النوعي أكبر من غيرها. ويمكن القول بأن الثقل النوعي للصخور النارية يتراوح من 2.3 - 3.3. ولكن أغلب مجموعات الصخور النارية يتراوح ثقلها النوعي من 2.2 - 2.7 في حين القليل من أنواع الصخور الثقيلة

الوزن في مجموعة الصخور النارية هي التي تتميز بالالوان الداكنة في حين تلك التي تتميز بقلّة ثقلها النوعي يغلب عليها الالوان الفاتحة. ولكن لا تنطبق هذه القاعدة تماما على جميع انواع الصخور النارية وعلى سبيل المثال نجد أن صخر الزجاج الطبيعي (اوبسيديان obsidian) يتميز بلونه الداكن ومع ذلك لا يزيد الثقل النوعي لهذا الصخر البركاني عن 2.4 (شكل 1/1) كما أن صخر الخفاف من الصخور النارية، ومع ذلك يطفو فوق سطح الماء لخفة ثقله النوعي، حيث يدخل في تكوينه نسبة عالية من الغازات التي تنحس داخل فجوات هذا الصخر البركاني (شكل 1/ب)



شكل 1/أ صخر الزجاج الطبيعي - أوبسيديان - وهو يشبه أسطح الزجاج، ويتميز بلونه الداكن ومع ذلك فانه قليل الثقل النوعي. أما نسيجه فزجاجي، ومكسره محاري كمثل مكسر الكوارتز.

### 3. النسيج الصخري Texture:

يقصد بالنسيج الصخري طبيعة حجم الجزيئات المسكونة للصخور وكيفية ترتيب هذه الجزيئات داخل الصخر. أو بمعنى آخر معرفة طبيعة شكل وحجم وترتيب وتوزيع المعادن المكونة للصخر.





شكل (1/ب)

ومن نتائج الفحص الطبيعي لحبيبات وجزئيات الصخور النارية يتبين ان بعضا منها يتكون من جزئيات ووحدات صغيرة وبعضها الآخر مكون من جزئيات مختلفة الحجم. ومن ثم فان هناك انواعا من الجزئيات الصخري صغيرة الحجم متجانسة إلى حد كبير في حين بعض الجزئيات الصخرية الاخرى غير متجانسة النسيج.

ويشبه بعض الصخور النارية المتجانسة الجزئيات صخر الزجاج الطبيعي وتنعكس الاشعة الضوئية على أسطحها ولذلك يعرف نسيجها باسم نسيج الاسطح الزجاجية Glassy Surface. في حين نجد أن اسطح البعض الآخر من هذه الصخور النارية المتجانسة الاجزاء معتمة وكأنها غطيت بطبقة قاتمة اللون ومن ثم يعرف نسيج الصخر باسم نسيج الاسطح المعتمة أو المتلبدة Matte surface.

انواع النسيج الصخري: تبعا لاختلاف حجم الحبيبات التي تتألف منها الصخور النارية وتنوع ترتيبها واختلاف المظهر الخارجي للصخر يمكن ان تميز الاشكال الآتية:

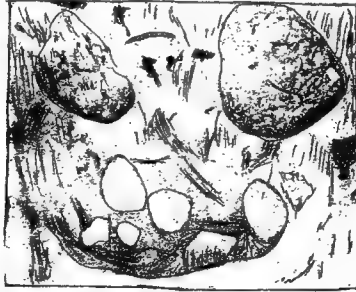
أ. نسيج خشن الحبيبات: **Coarse - grained texture** يطلق هذا التعبير على الصخر الذي يمكن أن ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة. وعندما ينظر الفاحص إلى قطعة من هذا الصخر باستخدام عدسة مكبرة يلاحظ أن كل بلورين يتداخلان مع بعضهما **Interlocking crystals**. ويختلف حجم البلورة الواحدة في الصخر من  $\frac{1}{16}$  من البوصة إلى عدة بوصات. ولكن يقصد الجيولوجي بتعبير النسيج الصخري الخشن الحبيبات، الإشارة إلى الصخور التي تتألف من بلورات كبيرة وقد تكون متجانسة الحجم **equigranular texture** ويعد الجرانيت من أكثر الصخور النارية الخشنة الحبيبات شيوعاً فوق سطح الأرض. ومن ثم يطلق البعض على مثل هذا النسيج الصخري تعبیر النسيج الجرانيتي **Granitoid texture**. ويجب أن نضع في الاعتبار بأن مثل هذه البلورات الكبيرة الحجم الكاملة التبلور لا تتكون إلا على أعماق بعيدة من سطح الأرض. وبحيث تتعرض موادها المنصهرة لبرودة تدريجية بطيئة تساعد البلورات على تكوينها بصورة كاملة **Holocrystalline**.

ب. نسيج دقيق الحبيبات **Fine - grained texture**: ويطلق هذا التعبير على الصخر الذي لا يمكن أن ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة، بل ترى باستخدام الميكروسكوب. أي أن الصخر مجهري البلورات **Micrcrystalline** وتتميز أسطح الصخور الدقيقة أو المجهرية الحبيبات بأنها قائمة متبلدة. ومن أهم العوامل التي لا تساعد على تكوين البلورات في الصخر بصورة كاملة تعرض مواد الصخر للبرودة الفجائية وبسرعة مما لا يعطى الوقت اللازم لانتهاء عملية التبلور بصورتها البطيئة التدريجية.

جـ- نسيج زجاجي **Glassy texture** يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور العديمة البلورات **noncrystalline**، وتتميز أسطحها بشدة لمعانها ومن ثم تشبه الأسطح الزجاجية. وتختلف ألوانها من الألوان الأحمر إلى

اللون الاسود ومن امثلتها الزجاج الطبيعي البركاني. ويتضح من شكل اسطح هذه الصخور ومظهرها الخارجي العام Structure بأنها انسابت على سطح الارض بعد انبثاقها وخروجها من باطن الأرض، ومن ثم تعرضت للبرودة الفجائية السريعة التي لم تعط الصخر فرصة من الوقت لتكوين بلوراته.

د. نسيج بورفيرى **Prophyritic Texture**: يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التي تتألف من بعض البلورات المعدنية الكبيرة الحجم نسبياً (تعرف باسم فينوكريست **Phenocrysts**) والمبعثرة في محيط أعظم من البلورات المعدنية المجهرية المكونة لمادة الصخر. ومعنى ذلك أن مواد الصخر تعرضت لفترة محدودة لعمليات البرودة التدريجية. فإذا كان الصخر شبه سطحي أي تكون بالقرب من سطح الأرض، ثم انبثق فوق سطح الأرض فقد يظهر الصخر بالنسيج البورفيرى حيث تكون بعض مواده نجتحت في أن تكون بلورات في حين بعضها الآخر لم يكن قد تعرض بعد لعمليات التبلور.

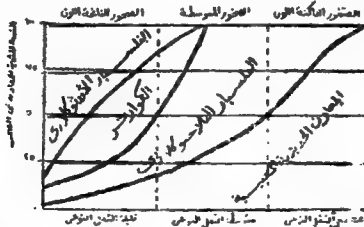


شكل (2) ثلاثة أشكال مختلفة للنسيج الصخري البورفيرى يتضح فيها اختلاف حجم حبيبات الفينو كرسيت التبلورة والمكونة هنا من الفلسبار والمبعثرة في مواد نارية غير متبلورة.

#### 4. التركيب المعدني للصخور النارية:

تساعد معرفة التركيب المعدني على تفسير اختلاف ألوان الصخور ومعرفة الخصائص العامة لمجموعات الصخور النارية وإلى حد ما تميز بعضها عن البعض الآخر فعند فحص الصخور الجرانيتية الخشنة الحبيبات، الفاتحة اللون، يتضح أنها تتألف من نسبة محدودة من المعادن الحديدية المغنيسية، يغلب بها تكوين معادن أخرى مثل الميكا والامفيبول والكوارتز والفلسبار والاورثوكلازى والبلاجيوكلازى وفي الصخور النارية الخشنة الحبيبات الداكنة اللون لا يمثل فيها الكوارتز أو الفلسبار الاورثوكلازى في حين يكثر فيها الفلسبار البلاجيوكلازى والمعادن الحديدية المغنيسية وخاصة الأوجيت والأوليفين. وفي الصخور النارية الخشنة الحبيبات المتوسطة اللون تحتوى غالباً على قليل من الاورثوكلاز والكوارتز ونسبة مرتفعة من البلاجيوكلاز (بحيث يتركب بنسب متساوية من الألييت والانورثيت) وكذلك بعض المعادن الحديدية المغنيسية وخاصة الهورنبلند والأوجيت.

ومن ثم يمكن القول بأن هناك تناسقاً واضحاً بين الاختلاف المعدني في الصخور وبين ألوانها العامة وثقلها النوعي وكثافتها النسبية. فتميز المعادن الحديدية المغنيسية بارتفاع كثافتها وبمعظم ثقلها وبألوانها الداكنة، في حين تتميز معادن الفلسبار الاورثوكلازى بقلّة كثافتها ووزنها وبألوانها الفاتحة. وتحتل مجموعة معادن الفلسبار البلاجيوكلازى مركز 1 متوسط. (شكل 3)



شكل (3) تصنيف الصخور النارية حسب اختلاف أنواعها ومعادنها وثقلها

## النوعى.

وهذا يلاحظ بأنه لا يمكن أن نحدد التركيب المعدنى للصخر بواسطة العين المجردة أو باستخدام العدسة اليدوية المكبرة. ولكن يتم ذلك بواسطة الفحص الميكروسكوبي بعد وضع عينات من الصخور النارية ومسحها والصاقها فوق الشرائح الزجاجية.

وحيث تتكون الصخور النارية في باطن الأرض وتتميز بشدة حرارتها وأنها تتألف أصلا من الماجما المنصهرة فانها لا تحتوى على أي حفريات. وحتى إذا سقطت كائنات ما في مواد الصخور النارية المناسبة على سطح الأرض، فسرعان ما تنصهر داخل مواد الصخور النارية ولا يبقى لها أي رمز يدل على وجودها.

## تكوين الصخور النارية ونشأتها:

تتكون الصخور النارية من الماجما المنصهرة Motlen magma داخل باطن الأرض، وعندما تندفع الماجما وتظهر فوق سطح الأرض كما هو الحال عن طريق البراكين فتعرف في هذه الحالة باسم اللافا Lava. وفي باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض قد تتعرض الماجما للبرودة التدريجية وتكون الصخور النارية بأشكال مختلفة من بينها العروق والسدود النارية، واللاكوليث، والفاكوليت، والباتوليت. أما فوق سطح الأرض فقد تكون اللافا أشكالاً متعددة من تكوينات الصخور النارية ومن بينها المخروطات البركانية والهضاب البركانية، والمفتتات الصخرية النارية Pyroclatic debris والبريشيا البركانية Volcanic braccia والغبار البركاني Volcanic bust.

وعلى ذلك يمكن القول بأن المصدر الرئيسى لمواد الصخور النارية هو مصهورات الماجما في باطن الأرض. ويعبر الأستاذ دون ليت Don Leet عن ذلك بقوله:

All igneous rocks were formed from the solidification of magma

ولكن تشكل مجموعات الصخور النارية تبعا لطبيعة عمليات البرودة التي تعرضت لها مواد الماجما. ومن ثم ينبغي ان نشير في هذا المجال إلى عملية تبلور الصخور النارية.

#### عملية التبلور الصخري Crystallization:

الماجما في باطن الأرض عبارة عن سائل منصهر من الايونات عند درجة حرارة مرتفعة جدا. وعندما تتعرض مواد الماجما المنصهرة لعمليات البرودة التدريجية تنكمش وتقلص وتعطى الفرصة لتكوين الاجزاء المعدنية. وخلال فترات متعاقبة تكبر هذه الاجزاء من حيث الحجم وتؤدي في النهاية إلى تكوين البلورات المعدنية الكبيرة الحجم. ويتجميع البلورات مع بعضها وتداخلها فيما بينها تكون الصخور النارية. وعلى ذلك تختلف مجموعات الصخور النارية من مجموعة إلى أخرى تبعا لعاملين رئيسيين هما:

(أ) طبيعة التركيب الكيميائي والمعدني للماجما في باطن الأرض.

(ب) طبيعة عمليات البرودة التي تعرضت لها الماجما.

وعلى سبيل المثال نلاحظ أن بعض الماجما قد تكون غنية من حيث تكوينات الحديد والمغنسيوم، في حين يرتفع في بعضها الآخر نسبة السليكون والالومنيوم. وعندما تتعرض الماجما المؤلفه من المواد الحديدية المغنيسية لعمليات البرودة، فان الصخور النارية التي تنجم عن ذلك غالبا ما يرتفع فيها نسبة وجود المعادن الحديدية - المغنيسية.

في حين اذا تعرضت الماجما المؤلفه من السليكون والالومنيوم لعمليات البرودة فان الصخور النارية التي تنجم عن ذلك غالبا ما تكون من معادن الفلسبار والكوارتز. ولذلك من الصعب جدا ان تتشابه لافا بركانية بأخرى لبركان آخر بل قد لا تتشابه لافا البركان الواحد في فترة ما مع لافا منبثقة منه في فترة أخرى.

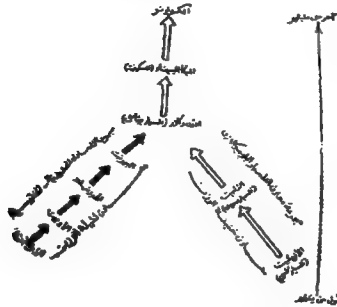
وتبلغ درجة حرارة اللافا الحديدية - المغنيسية في حالة انصهارها نحو 2000 °ف (1100 °م) في حين كانت درجة حرارة اللافا الغنية بالسليكون والتي انبثقت من فوهة بركان اتنا عام 1910 تتراوح من 1600 °ف إلى 1830 °ف (900 °م - 1000 °م)، وينصهر صخر الجرانيت عند هذه الحرارة العالية.

وقد تتألف الصخور النارية من تداخل بلورات معدن واحد مع بعضها بعضاً، أو من تداخل بلورات لمعادن سليكية مختلفة وخاصة الأوليفين واللاجيت والهونبلند والبيوتيت والانورثيت والاليت والاورثوكلاز والمسكوفيت والكوارتز.

واكتشف العالم بوين N.L. Bowen 1922 قانون التفاعل الكيميائي ووجد ان السليكات تترتب في مجموعتين مختلفتين من التبلور. وتبين أن أي معدن في كل من هاتين المجموعتين المختلفتين مشتق من المعدن الذي تكون قبله داخل نطاق المجموعة وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية. وتعرف هاتان المجموعتان من سلسلتى التفاعل الكيميائي لمعادن الصخور النارية باسم قانون بوين للتفاعل Bowen's Reaction Series.

وتعرف المجموعة الأولى من المعادن المتبلورة باسم مجموعة المعادن الحديدية المغنيسية الثقيلة الوزن. وأول ما يتبلور في هذه المجموعة معدن الأوليفين ثم يليه بعد ذلك اللاجيت والهونبلند والبيوتيت على الترتيب ثم الاورثوكلاز ويتبلور بعد ذلك كل من المسكوفيت والكوارتز.

وفي المجموعة الثانية والتي تتألف من معادن الفلسبار البلاجيوكلازى الخفيفة الوزن، يذكر بوين بأن الانورثيت هو أول معادن هذه المجموعة تعرضا للتبلور. ويتبلور هذا المعدن عند درجات حرارة تشابه تلك التي يتبلور عندها الأوليفين في مجموعة المعادن الحديدية - المغنيسية. ثم يتبلور بعد ذلك كل من الاليت والفلسبار الاورثوكلازى والمسكوفيت والكوارتز على الترتيب (شكل 4).



(شكل 4) قانون التفاعل حسب دراسات بوين.

ومن ثم يتضح بأن هذه المعادن لا تبلور من الماجما المنصهرة كلها على مرحلة واحدة، بل يتبلور كل معدن منها عند درجة حرارة معينة وتحت ظروف طبيعية وكيميائية خاصة تؤدي إلى تكوين المعدن وتبلوره وتمييزه عن بقية مواد الماجما. ويتضح من دراسات بوين كذلك بأن كل المعادن التي تتكون من الماجما داخل باطن الأرض قد تتحول في نهاية الدورة وتؤدي إلى تكوين الكوارتز. ولكن بلا شك نادرا ما تتم المعادن عملية تبلورها بصورة كاملة. وهذا يفسر من ناحية أخرى أسباب تنوع التركيب المعدني للصخور النارية. ومن أسباب عدم تكملة دورة التبلور تسرب بعض الغازات الطيارة Volatiles التي تساعد الماجما على سهولة تحركها وليونتها وامتزاج المعادن بعضها ببعض الآخر حتى تتم عملية التفاعل الكيميائي.

وتختلف عمليات تبلور الصخر تبعا لطبيعة المواد التي تتألف منها الماجما من ناحية والعمق الذي تبلور عنده الماجما وعمليات البرودة التدريجية والفجائية من ناحية أخرى. وقد تبين بأن الماجما عند ظهورها على سطح الأرض وبمجرد تكون درجة حرارتها 2000 ° ف (1.100 م°)، تحتاج إلى ازمة مختلفة لكي تتجمد



كتلتها، فإذا كان سمكها محدودا فتبرد في فترة قصيرة اما اذا كانت عظيمة السمك فتحتاج إلى زمن طويل لكي تتجمد أجزاء كتلتها. وقدّر الاستاذ دالى Daly الزمن اللازم لتجمد مثل هذه الماجما في البيان التالي:

سمك الماجما بالاقدام الزمن اللازم لتجمدها

3	12 يوم
30	3 سنوات
300	300 سنة
3000	30.000 سنة
30.000	3 مليون سنة

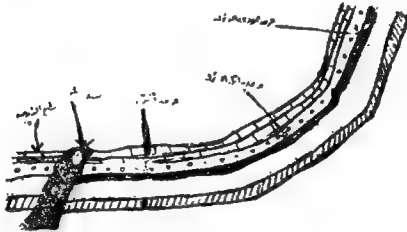
بعض الحالات التي توجد عليها الصخور النارية في الطبيعة

قد تتكون الصخور النارية في باطن الأرض وتعرف في هذه الحالة بالصخور الجوفية أو البلوتونية، كما قد تظهر الصخور النارية بأشكال مختلفة فوق سطح الأرض، وفي هذه الحالة الأخرى تعرف باسم الصخور البركانية ومن أمثلة أشكال الصخور البركانية المخروطات البركانية والهضاب البركانية والغبار والمقدوفات البركانية. أما الصخور الجوفية أو البلوتونية التي تتكون في باطن الأرض قد تظهر هي الأخرى على سطح الأرض بعد إزالة الطبقات الصخرية التي فوقها بفعل عوامل التعرية أو بعد تعرضها لحركات رفع تكتونية تؤدي إلى ظهورها فوق سطح الأرض ومن ثم تسهم هذه الصخور الجوفية في تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الأرض. ومن بين أهم الحالات التي قد توجد عليها الصخور النارية الجوفية في الطبيعة ما يلي:

1. العروق النارية Sills: يطلق لفظ عرق ناري Sill على المصهورات النارية التي تنحصر بين سطح الطبقات الصخرية بعد اندفاع الماجما في باطن الأرض، وكثيرا ما تكون هذه العروق أفقية الامتداد، ولكن في بعض الحالات قد تكون مائلة أو حتى عمودية، إلا أنه في جميع هذه الاوضاع لابد وأن يكون

امتدادها العام موازيا لامتداد اسطح الطبقات التي تداخلت فيها العروق النارية Concordant to bedding (شكل 5)

ويختلف حجم العروق النارية من فرشات لافية يقل سمكها عن بوصة واحدة إلى كتل عظيمة الحجم والامتداد من الالفا ويزيد سمكها عن 100 قدم. ولا بد أن نوضح هنا اوجه الاختلاف بين العروق الصخرية Sills والفرشات



شكل (5) اختلاف امتداد العروق النارية من (افقية إلى مائلة إلى شبه رأسية) ولكنها في جميع الحالات موازية لاسطح الطبقات أما السدود النارية فهي عمودية على الامتداد العام لاسطح الطبقات.

اللافية المدفونة Buried lava flow والاخيرة عبارة عن مصهورات لافية سطحية ثم غطت بالرواسب وانطمرت تحتها واصبح لها نفس الشكل العام للعروق النارية. ولكن يتبين أن أسطح الفرشات اللافية المدفونة تتميز بسطحها المموج الذي يكثر فيه كذلك الفراغات الصخرية. وان دل وجود هذه الفراغات على شيء فانما يدل على تكوين الالفا فوق سطح الارض والمجاسم الغازات فيها. اما أسطح العروق الصخرية النارية فتتميز بأنها ناعمة ولا تظهر فيها مثل هذه الفراغات الصخرية بل قد يلاحظ فيها بعض المفتتات الصخرية التي انفصلت من الطبقات عندما تداخلت فيها العروق الصخرية النارية.

وعندما تظهر العروق النارية على سطح الأرض قد تؤدي إلى تكوين هضاب مستوية الامتداد تبعا للامتداد الافقى للعروق النارية، وفي بعض الاحيان الاخرى عندما تتألف العروق النارية من عدة طبقات لافية متعاقبة وتتفصل عن بعضها البعض بواسطة طبقات صخرية اخرى، تؤدي إلى تكوين المدرجات الصخرية Rock terraces.

من أظهر أمثلة العروق النارية الاسوار الجبانية لنهر هدسون والمعروفة باسم الباليسيد The Palisades. وتظهر هذه الاسوار النارية على شكل حافات رأسية عظمى تكونت أصلا من عرق ناري عظيم الامتداد والسماك في صخور العصر الترياسي. ويتألف هذا العرق الناري من الدياباز Diabase والجابرو Gabbro وعلى الرغم من أن هذه المصهورات النارية هي مواد لعرق ناري أفقي الا أنها تبدو وكأنها كتل عمودية. ويعزى المظهر العمودي الظاهري للعرق الناري إلى انحنا نهر هدسن في شق خائق نهري عميق في الفرسات النارية من جهة وإلى تأثير الشقوق العمودية Columnar Jointing التي تكونت في مواد العرق الناري أثناء عملية برودة مواده من جهة أخرى (شكل 6).

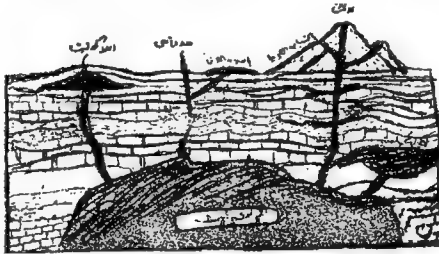


شكل (6) العروق النارية العظمى على جانبي نهر هدسن بالولايات المتحدة الامريكية - لاحظ الشقوق الرأسية التي قطعت العرق الناري، وجعلته يظهر وكأنه مكون من (طبقات) نارية عمودية الميل.

2. السدود النارية Dykes: عبارة عن مظهر من مظاهر انبثاقات الماجما من باطن الأرض واندفاعها رأسيا لتتداخل في طبقات القشرة الأرضية. وتتكون السدود بالقرب من سطح الأرض وقد تظهر اطرافها العليا أيضا فوق سطح الأرض. وتختلف السدود على العروق النارية في أن الاولى تتكون عمودية

على امتداد الطبقات التي تتداخل فيها Discordant to bedding ومن ثم فهي لا تتوافق مع الامتداد العام للطبقات باختلاف العروق النارية (شكل 7)

ويختلف سمك السد الناري من بضعة بوصات إلى مئات من الاقدام. وعلى سبيل المثال يبلغ سمك سد مدفور Medford الناري بالقرب من بوسطن - ماساشوست - نحو 500 قدم، في حين يقل سمكه عن ذلك كثيرا في بعض المواقع الاخرى. ومن الصعب اكتشاف السدود النارية الا بعد اجراء الدراسات التطبيقية التفصيلية الجيولوجية في المناطق المختلفة أو بمساعدة عوامل التعرية التي تعمل على ازالة الطبقات اللينة واطهار مثل هذه السدود النارية. وعلى الرغم من سمك بعض السدود النارية الا انها قد تمتد لمسافات طويلة.

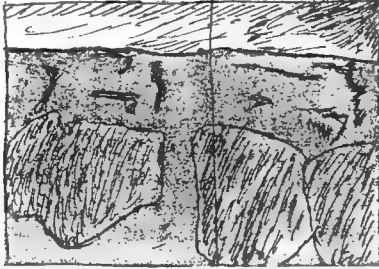


شكل (7) بعض الاشكال التي تتخذها المصهورات النارية بالقرب من سطح الارض وفوقه.

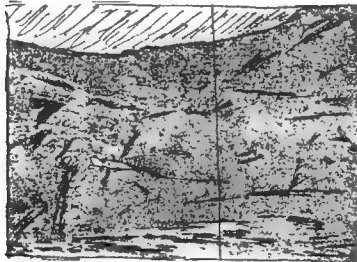
ففي جزيرة ايسلند تمتد كثير من السدود النارية لمسافة تزيد عن 30 ميلا، بل يوجد بهذه الجزيرة بعض السدود النارية التي يمتد كل منها لمسافة 65 ميلا. أما في غرب اسكتلند وجنوبها فقد تمتد السدود النارية لبضعة مئات من الاميال فيما بين جزيرة سكاى sky شمالا إلى جزيرة آران Aran جنوبا (شكل 8 أ، ب)

شكل (8) السدود النارية الرأسية. وفي الصورة سد نارى بالزلتى متداخل في صخور نارية جرانيتية في منطقة ماستشوست بالولايات المتحدة الامريكية (في

شكل 8 أ يظهر السد الراسي عموديا على أسطح الطبقات، وفي شكل 8 ب يظهر السد الراسي وهو فوق سطح الأرض).



شكل (8 أ) السدود النارية الرأسية متداخلة في الطبقات.



شكل (8 ب) السدود النارية الرأسية ظاهرة على الأرض.

وتتوقف أشكال الظواهر التضاريسية الناجمة عن السدود الرأسية فوق سطح الأرض على طبيعة المادة التي تتألف منها السدود واختلاف صلابتها بالنسبة لصلابة الطبقات الصخرية التي تداخلت فيها. فإذا كانت السدود الرأسية النارية أعظم صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، تبقى هذه السدود على

شكل حواف رأسية عالية بعد أن تعمل عوامل التعرية على تحت الصخور اللينة. أما إذا كانت مواد السدود النارية أقل صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، تبقى هذه السدود على شكل حواف رأسية عالية بعد أن تعمل عوامل التعرية على تحت الصخور اللينة. أما إذا كانت مواد السدود النارية أقل صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، فتعمل عوامل التعرية على تحتها وتآكلها وقد تظهر السدود على شكل خنادق طويلة تمتد مع امتداد السدود النارية نفسها.

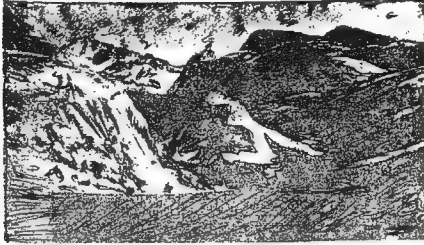
3. الكتل القبابية اللافية العظمى Batholiths: الباثوليت عبارة عن كتل قبابية لافية عظمى هائلة الحجم ويزداد حجمها في اتجاه باطن الأرض بحيث يصعب تحديد قاعدة تلك المواد اللافية. وعندما تظهر مواد الباثوليت على سطح الأرض فإنها تغطي حيزاً لا تقل مساحته عادة عن 40 ميلاً مربعاً.

والباتوليت في الواقع عبارة عن خزانات هائلة للمagma ولكن تعرضت لعمليات البرودة، وأصبحت كتلاً نارية عظمى. وعندما تتعرض الباثوليت لحركات رفع من أسفل إلى أعلى قد ترتفع أعاليها إلى عدة آلاف من الأقدام فوق مستوى سطح البحر الحالي. وبذلك تتعرض أعلى الباثوليت لعوامل التعرية المختلفة التي تعمل بدورها على تآكل الأجزاء الضعيفة جيولوجياً وإزالتها.

ومن بين نماذج كتل الباثوليت القبابية العظمى، كتل ويكلو Wicklo والباتوليت الجرانيتية في مرتفعات جوديت Judith Mt بولاية مونتانا.

ويرجع معظم الجيولوجيين سبب ظهور الباثوليت على شكل قباب هائلة الحجم، إلى اندفاع اللافا أو magma إلى أعلى تحت الضغط والحرارة الشديدين، وصهر الصخور الأخرى التي تصادف طريق magma، ومن ثم تتكون قبة لافية أو جرانيتية عظيمة تحترق الصخور الأخرى وتمزق بنيتها. وقد يتكون على جوانب القبة العظيمة اكوام قبابية صغيرة الحجم نسبياً يطلق عليها اسم القباب الدائرية الصغيرة Stocks or Bosses. ومن أظهر أمثلة الباثوليت التي تعرضت لعوامل التعرية ما يشاهد في بعض أجزاء من مرتفعات وايت White Mts في نيو هامبشير ومرتفعات سيرانيفادا حيث تظهر قباب يوسميت العظمى Yosemite - في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية - وقد تأثرت بشدة عوامل التعرية التي

عملت على تسوية منحدرات القباب، وأصبحت المنطقة شديدة التضرس قبابية المظهر (شكل 9).



شكل (9) المظهر القبابي العظيم لقباب الباثوليت في منطقة يوسميت في كاليفورنيا.

ويمكن أن نسجل الملاحظات الهامة الآتية عن قباب الباثوليت:

أ. يرتبط وجود الباثوليت بالسلاسل الجبلية العظمى، ويندر مشاهدتها في مناطق لم تتعرض للالتواءات والحركات الطي والثنى من قبل، كما انه ليس من الضروري أن تمثل الباثوليت في جميع المناطق الالتوائية. ويمكن القول بأن الباثوليت يعظم حجمها كلما كانت حركة الالتواءات عنيفة والسلاسل الالتوائية عظيمة الارتفاع.

ب. تمتد الباثوليت في اتجاهات موازية للاتجاه العام للسلاسل الجبلية التي تداخلت فيها.

ج. تظهر قباب الباثوليت عادة في مرحلة متأخرة بعد اتمام تكوين السلاسل الجبلية العظمى - أي بعد أن تنجح عوامل التعرية من ازالة الطبقات اللينة واظهار كتل الباثوليت. ولكن قد تتعرض هذه السلاسل الجبلية لحركات رفع تكتونية من جديد بعد ظهور الباثوليت على سطح الأرض.

د. تتميز أعالي الباثوليت بشكلها القبابي تبعاً لتعرض اللافا المنصهرة لعمليات البرودة السريعة نسبياً واختلاطها بالمفتتات الصخرية التي كانت تتمثل في المنطقة قبل اندفاع اللافا والمagma فيها.

هـ. تتألف الباثوليت غالباً من الصخور الجرانيتية، والجرانوديوريتية (جرانيت ديوريت).

و. يعتقد بعض الجيولوجيين بأن الباثوليت اكتسب حجمها العظيم بعد أن نجمت في صهر الصخور الأصلية بالمنطقة التي اندفعت فيها.

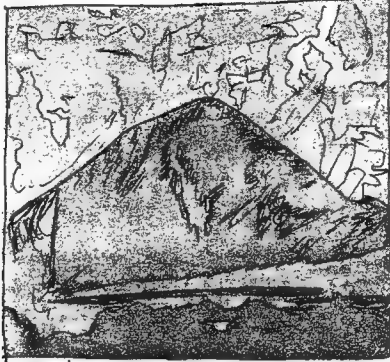
ز. يتنوع حجم الباثوليت من منطقة إلى أخرى، وعلى سبيل المثال يلاحظ أن الباثوليت في المرتفعات الساحلية بالسكا وكولومبيا البريطانية يبلغ طولها نحو 1100 ميل، ويتراوح عرضها من 90-120 ميل، في حين تلك في مرتفعات سيرانيفادا بكاليفورنيا لا يزيد طولها عن 400 ميل ويتراوح عرضها من 40 - 70 ميلاً.

وقد تبرد magma في باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض على شكل قباب نارية أقل حجماً بكثير من قباب الباثوليت وإذا كان السطح العلوي لهذه القباب محدباً أي على شكل كسل هلالية محدبة فتعرب باسم اللاكوليث Laccolith. أما إذا امتدت المصهورات النارية بين الطبقات الصخرية على شكل (اطباق) مفلطحة أو مقعرة أي على شكل كسل هلالية مقعرة فتعرف في هذه الحالة باسم الفاكوليث Phacolites.

وعلى الرغم من أن كمية المواد المنصهرة التي تتألف منها الفاكوليث واللاكوليث محدود بالنسبة لقباب الباثوليت، إلا أن سمكها الظاهري قد يكون عظيماً ويمثل ظاهرة واضحة على سطح الأرض، فقد تتكون اللاكوليث من فرشاة نارية محدودة السمك تنحصر بين الطبقات الصخرية المثنية المحدبة، وبعد إزالة الطبقات الصخرية اللينة بفعل عوامل التعرية تظهر قباب اللاكوليث على سطح الأرض وقد احتلت حيزاً كبيراً تبعاً لظهور الامتداد الأفقي أي السمك الظاهري لموادها وليس السمك الحقيقي - الامتداد الرأسي - للاكوليث. ومن



اجمل امثلة اللاكوليث تتمثل في مرتفعات هنرى لاسال Henry la Sal ومرتفعات أباجو Abajo في جنوب ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الامريكية (شكل 9).



شكل (10) احدى قباب اللاكوليث وتشكيل منحدراتها بفعل عوامل التعرية  
كما ينجم عن الفاكوليث تكوين مناطق حوضية عظيمة المساحة على سطح  
الارض اذا ما تعرضت الطبقة الصخرية التي كانت تعلوها لفعل عوامل التعرية.  
وقد تتخذ الطفوح النارية المنبثقة من أعماق بعيدة من باطن الأرض شكل  
حلقات من المصهورات النارية تحصر بينها الصخور الاخرى، ويطلق على مثل  
هذه الظاهرة اسم اللابوليث Lapoliths.

تصنيف الصخور النارية وبعض نماذج لانواعها المختلفة.

يمكن تصنيف الصخور النارية إلى مجموعات مختلفة على اساس اختلاف  
نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته أو على أساس تنوع التركيب الكيميائي  
لمعادن الصخر أو على أساس اختلاف اللون الصخر ومظهره الخارجى ولكن

انسب هذه التقاسيم ذلك الذي يعتمد على كل الخصائص الطبيعية للصخر الناري. وفيما يلي محاولات مختلفة لتصنيف مجموعات الصخور النارية.

أولاً: بحسب اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته:

حيث أن المعادن المتبلورة وغير المتبلورة تدل على الظروف التي صاحبت نشأة الصخور النارية، فليس من الغريب أن تساهم هذه الخاصية في تصنيف مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسيج الصخور النارية ومظهرها الخارجى يمكن أن تميز المجموعات الآتية:

أ. الصخور النارية الكاملة التبلور:

وهي التي تتكون في باطن الأرض، وتتعرض معادنها للبرودة التدريجية ومن ثم استطاعت أن تكون بلورات معدنية كاملة التبلور. وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور داخل جوف الأرض فتعرف الصخور باسم الصخور النارية الجوفية العميقة Deep – Seated or Plutonic Rocks.

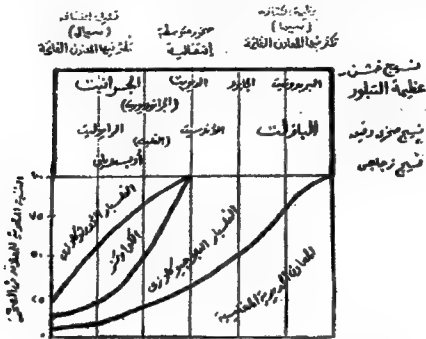
ب. الصخور الزجاجية المظهر:

وهي التي تتكون فوق سطح الأرض، حيث تتعرض معادنها للبرودة الفجائية ومن ثم لا تتكون فيها البلورات المعدنية. وتتميز هذه الصخور بمظهرها الزجاجى وتعرف الصخور كذلك باسم الصخور الطفحية أو البركانية Volcanic.

جـ. الصخور النارية البورفيرية المظهر:

يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التي تتميز بأن بعض معادنها متبلورة ومبعثرة في محيط من معادن غير متبلورة. ويعزى تبلور بعض معادن هذه الصخور وعدم تبلور بعضها الآخر إلى برودة الماجما بالقرب من سطح الأرض ثم ظهورها على سطح الأرض قبل أن تتم عملية التبلور تماماً. وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور بالقرب من سطح الأرض وعلى أشكال العروق والسدود النارية فتعرف الصخور كذلك باسم الصخور النارية تحت السطحية أو

والبورفيريت، والفلسيت والدولوريت (شكل 10).



شكل (10) تصنيف الصخور النارية وأهم مجموعاتها.

ثانياً: بحسب اختلاف التركيب الكيميائي لمعادن الصخر:

قد يهمل بعض الكتاب التركيب الكيميائي لمعادن الصخور النارية وأهميته في تصنيف الصخور النارية ذلك لانه قد يلاحظ أن هناك صخرين ناريين متشابهين من حيث التركيب الكيميائي الا انهما مختلفان من حيث المظهر الخارجي والنسيج الصخري بل واللون الصخر. ولكن اذا وضعنا في الاعتبار بأن عدد المعادن الأساسية التي تدخل في تركيب قشرة الأرض لا يزيد عن عشرة معادن فقط، بل وان الصخور النارية بوجه خاص تتألف أساساً من ثانى اكسيد السيلكون مع أكاسيد اخرى فلزية ولا فلزية لتبين الاهمية الاخرى الخاصة بنسبة وجود ثانى اكسيد السيلكون في مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسبة ثانى اكسيد السيلكون يمكن أن نغيز المجموعات الآتية من الصخور النارية:

#### أ. صخور حمضية Acid rocks:

ترتفع فيها نسبة ثاني أكسيد السليكون عن 66٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها الجرانيت (جوفى عميق) والفلسيت (متداخل - بسيط)، والريوليت (طفحى - بركانى).

#### ب. صخور متوسطة Intermediate rocks:

تتراوح نسبة ثاني أكسيد السليكون فيها من 52-66٪ من جملة وزن الصخر، ومن أمثلتها السيانيت والديوريت (جوفية) والبورفورتي (وسيط) والتراكت والاندسيت (سطحية).

#### ج. صخور قاعدية Basic rocks:

تتراوح نسبة ثاني أكسيد السليكون من 40-52٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها البريدونيت (جوفى)، واللمبرجيت (طفحى).

ثالثا: بحسب اختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى العام:

#### الصخور النارية انفاحة اللون:

تميز بقلة ثقلها النوعي وتركب عامة من سليكات الألمونيوم، ومن ثم تعرف مجموعة الصخور هذه باسم السيال Sial وهي صخور حمضية ترتفع فيها نسبة أكسيد السليكون عن 66٪ واطهر نماذج هذه المجموعة من الصخور الجرانيت، والجرانيت الدايرتي Grano - diorites ويقدر الباحثون بأن هذين الصخرين يكونان نحو 95٪ من جملة الصخور النارية انفاحة اللون والتي تبلور عادة على بعد عشرة أميال من سطح الأرض.

والجرانيت يتألف من معادن الفلسبار الأورثوكلازى والكوارتز والفلسبار البلاجيوكلازى وكمية قليلة من المعادن الحديدية. المغنيسية. وهو صخر كامل التبلور الا انه يختلف من صخر خشن الحبيبات إلى مجموعات مختلفة منه دقيقة الحبيبات. وعندما يفتت الجرانيت بفعل عوامل التعرية تتحول الميكا والفلسبار

إلى المواد الطينية. اما حبيبات الكواتز الصلبة فتكون ذرات الرمال. وقد استخدم الفراعنة هذا الصخر في بناء الاعمدة والمسلات الجرانيتية تبعا لصلابته وقابليته للانصقال (شكل 11)



(شكل 11) عينة لصخر الجرانيت خشن الحبيبات.

أما صخر الديوريت Diorite فهو صخر جوفي يشبه الجرانيت ومن ثم فهو كامل التبلور ولكن تقل فيه نسبة الكوارتز ويدخل في تركيبه اسامسا البلاجيوكلاز والهورنبلند. وقد اكسبت هذه المعادن الاخيرة الصخر اللون الاسود، كما اصبح ثقله النوعي أكبر من ثقل الجرانيت.

وهناك بعض الأنواع الأخرى من الصخور النارية تشبه صخر الجرانيت كيميائيا، ولكن يختلف مظهرها الخارجى عنه كما قد يكون بعضها الآخر عديم البلورات أو ذاكن اللون ومن بين هذه الأنواع:

الرايوليت Rhyolite: حيث يتميز بنفس التركيب الكيميائي للجرانيت الا أنه تبعا لنشأته فوق سطح الأرض مع المصهورات البركانية فانه صخر دقيق الحبيبات، زجاجى المظهر ومتوسط اللون.

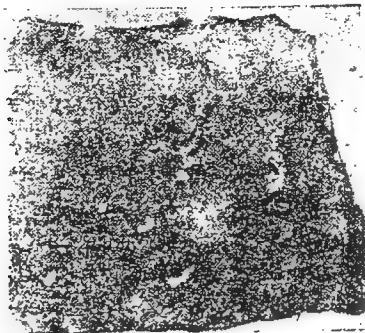
الابوسيديان **Obsidian**: وهو الزجاج الصخري الطبيعي، ويشبه عامة التركيب الكيميائي للجرانيت؛ ومع ذلك فهو زجاجي المظهر، عديم التبلور تبعاً لتكوينه فوق سطح الأرض، وداكن اللون.

حجر الخفاف **Pumice**: وهو صخر طفحي يتكون فوق سطح الأرض وتعرض للبرودة الفجائية، وتكثر الفراغات الصخرية في الصخر تبعاً لانحباس الغازات في مواد الصخر عندما تعرضت لعمليات البرودة. ومن ثم يتميز الصخر بخفة وزنه وقدرته على الطوفان فوق سطح الماء، وهو يشبه صخر الجرانيت كذلك من ناحية التركيب المعدني.

## 2. الصخور النارية الداكنة اللون:

تتميز الصخور النارية الداكنة اللون بأنها أعظم ثقلًا وكثافة من الصخور النارية الأخرى الفاتحة اللون. ويطلق عليها اسم صخور السيم **Sima** حيث تتألف كيميائياً من سليكات المغنسيوم، ومن ثم فهي قاعدية تتراوح فيها نسبة أكسيد السليكون من 40-52٪ وعلى ذلك يمكن القول عامة بأن الصخور الحمضية التي تتركب أساساً من الكوارتز والفلسبار فاتحة أو باهتة اللون وخفيفة الوزن، في حين أن الصخور القاعدية التي تتركب أساساً من الأوجيت والاوليفين قائمة أو سوداء اللون، وغالباً ثقيلة الوزن. وتؤلف هذه الصخور النارية الداكنة الثقيلة الوزن ارضية المحيطات وخاصة المحيط الهادي. ويقدر الباحثون بأن نحو 98٪ من جملة حجم اللافا التي بردت على سطح الأرض تتألف من البازلت والاندسيت.

ويتميز البازلت بلونه الأسود الداكن، وتكثر في سطحه الفراغات والثقوب نتيجة لتصلبه فوق سطح الأرض وانحباس بعض الغازات في مواد الصخر أثناء عملية برودتها. (شكل 12) ويتركب البازلت من الفلسبار البلاجيوكلازي والمعادن الحديدية المغنيسية.



شكل (12) عينة لصخر البازلت الاسود دقيق الحبيبات

ويتألف من بلورات مجهرية وعندما يتعرض البازلت لعوامل التعرية يتشقق ويتفتت على شكل أعمدة سداسية الجوانب. ومن أظهر نماذج تشقق البازلت العمداني ما يتمثل في منطقة بورت رش - انتريم - بالقسم الشمالي من أيرلند.

ويشبه الجابرو Gabbro صخر البازلت من حيث التركيب الكيميائي العام حيث يدخل في تركيبه الحديد والمغنيسوم، ومن ثم فتقله النوعى مرتفع، ولكنه يختلف عن البازلت في أنه صخر قاعدي، كامل التبلور. خشن الحبيبات لتكوينه في داخل قشرة الأرض.

### 3. الصخور النارية الوسيطة:

يقع فيما بين مجموعتي الصخور النارية الفاتحة اللون (معظمها حمضية التركيب) وبين الصخور النارية الداكنة اللون (معظمها قاعدية التركيب). مجموعة ثالثة من الصخور يطلق عليها اسم الصخور الوسيطة Intermediate types. ومن ثم فهذه الصخور الأخيرة وسيطة من حيث تركيبها المعدني وكذلك من ناحية نسيجها والوانها العامة.

ومن بين نماذج هذه المجموعة الوسيطة صخر الانداسيت<sup>(1)</sup>. وهو صخر ناري دقيق الحبيبات الا انه يقع في مرحلة تتوسط كل من الجرانيت والبازلت. ويتميز الصخر بالوانه المتوسطة وتراوح نسبة ثاني اكسيد السليكون فيه من 52-66% ويتألف من معادن الفلسبار الاورثوكلازي والهورنبلند. وفي بعض الاحيان تكون معادن الهورنبلند والاوجيت داخل صخر الانداسيت بلورات واضحة ترى بالعين المجردة.

ويتشر صخر الانداسيت في المناطق البركانية وخاصة بحلقة النار على جوانب المحيط الهادي. وعندما يتعرض الصخر للبرودة التدريجية يصبح خشن الحبيبات ويتكون صخر آخر يعرف باسم الديوريت Diorite.

وهناك مجموعة أخرى من الصخور النارية تعد وسيطة النسيج، أي تقع في مرحلة متوسطة فيما بين الصخور النارية الكاملة التبلور، وتلك الزجاجية المظهر العديمة التبلور. ويطلق على هذه المجموعة من الصخور اسم المجموعة البورفيرية Prophyritic Series ومعرفة نسيج الصخور النارية من العوامل الهامة التي تساعد على تصنيفها. فنلاحظ مثلاً أن كلا من الجرانيت والريوليت والابوسيدان تشابه جميعاً من حيث التركيب الكيميائي في حين أنها تختلف فيما بينها من حيث تنوع النسيج الصخري. ومن بين أهم نماذج هذه المجموعة من الصخور ما يلي:

صخر البورفير Porfyr: وهو صخر متوسط التبلور حيث يتكون بالقرب من سطح الأرض وخاصة في السدود والعروق النارية. وتتألف بلوراته الكاملة أساساً من الارثوكلاز، ويشبه صخر السيانيت من حيث التركيب الكيميائي.

صخر البورفيريت Porphyrite: وهو صخر متوسط التبلور لتكوينه بالقرب من سطح الأرض مع السدود والعروق النارية. ولكن تتألف بلوراته الكاملة أساساً من البلاجيوكلاز، ويشبه صخر الديوريت من حيث التركيب الكيميائي وتراوح نسبة ثاني أكسيد السليكون فيه من 52-66%.

(1) اكتشف هذا الصخر في بداية الامر بمرتفعات الانديز Andis ومنها اشتق الصخر اسمه.





الفصل الرابع

## الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة



## الفصل الرابع

### الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

تتألف قشرة الأرض اليوم من نطاقات صخرية مختلفة تتنوع فيما بينها تبعاً لمدى تأثيرها بالحركات التكتونية. فهناك أجزاء واسعة من قشرة الأرض تتألف من كتل صخرية قديمة العمر الجيولوجي يرجع معظمها على فترة ما قبل الكامبري، ويتألف القليل من أجزائها من صخور أعلى الزمن الجيولوجي الأول. ومن ثم فإن هذه الكتل الصخرية الصلبة تبدو مستقرة جيولوجياً، ولم تتعرض لحدوث الالتواءات الالبية الميوسينية العظمى Alpine Orogenesis. ولا يبدو أنه يمكن أن تتعرض بعض أجزاء تلك الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية حديثة مكونة لسلاسل جبلية عظمى، ويعزى ذلك إلى شدة صلابتها صخورها من جهة، وقلة سمك الفرشات الرسابية المتجمعة فوق بعض أجزائها من جهة أخرى، وإذا تعرضت بعض أجزاء هذه الكتل الصخرية القديمة لحركات تكتونية ما، فينجم عن ذلك غالباً تعرضها لحركات صدعية عظمى، ومن ثم تتزحزح بعض صخورها أفقياً أو رأسياً وتتكون فيها مناطق الصدوع العظمى وتؤثر بنماذج مختلفة من الصدوع المركبة والاحواض الصدعية الهابطة Grabens والهضاب الصدعية البارزة Horsts، والاختادات الصدعية العظمى كالأخدود الأفريقي العظيم. ويطلق على هذه النطاقات الصخرية من قشرة الأرض أسماء مختلفة من أكثرها شيوعاً تعبير الكتل القارية القديمة Ancient Land Masses ويقصد بذلك أجزاء القارات القديمة العمر الجيولوجي والعظيمة الصلابات Highly Rigid، أو الكتل القارية المستقرة Stable Land Masses حيث أنها تعد أعظم أجزاء القارات استقراراً من الناحية الجيولوجية. ويطلق بعض الجيولوجيين على مثل هذه النطاقات القارية تعبير الكتل القارية الهضبية القديمة

Ancient Shields، ذلك لأنها نطاقات قارية قديمة العمر الجيولوجي من ناحية، وانها جميعا تبدو على شكل سهول واسعة الامتداد ذات أسطح محدبة قليلا من القسم الاوسط منها Gently Convex Profiles، وتنحدر المحدارا تدريجيا بسيطا نحو الاطراف من ناحية اخرى.

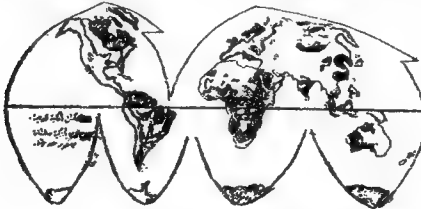
وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة ان الكتل القارية القديمة قد اتصلت بعضها ببعض الآخر عن طريق ملاحم جيولوجية عظيمة تمثل في نفس الوقت مناطق ضعف جيولوجية عظمى. ومن ثم أكد الجيولوجيون بأن تلك المناطق الأخيرة كانت في بداية نشأتها عبارة عن أحواض بحرية عظيمة Geosynclines تجمعت الرواسب الهائلة الحجم فوق قاعها خلال أزمة جيولوجية طويلة متعاقبة، ثم تعرضت هذه الرواسب لعمليات الرفع التكتونية وظهرت فوق سطح الأرض على شكل جبال وسلاسل جبلية ربطت الكتل القارية القديمة جيولوجيا بعضها ببعض الآخر. وحيث تكونت هذه النطاقات الضعيفة جيولوجيا بفعل الحركات التكتونية الالبية الميوسينية، فانها تعد مناطق حديثة غير مستقرة جيولوجيا، ولا تزال تتعرض أجزاءها المختلفة في الوقت الحاضر لحركات تكتونية متنوعة وتمثل اهم نطاقات حدوث الزلازل والبراكين.

#### أولا- الكتل القارية المستقرة جيولوجيا

تمثل الكتل القارية المستقرة المناطق القديمة العمر جيولوجيا، ومن ثم بقايا اليابس الأولى القديم Primitive Londs لقشرة الأرض. وقد كانت تلك الكتل - المنتشرة حاليا في مناطق مبعثرة في القارات الحالية فوق سطح الأرض - أكثر اندماجا وارتباطا مع بعضها البعض بل وكانت تكون كتلا واسعة الامتداد في القارات القديمة العمر الجيولوجي. فقد اعتقد فجنر Wegener A. بأن يابس قشرة Pangaea وكان يمتد في أواسطها بحر جيولوجي قديم، أطلق عليه اسم بحر Tethys. اما الباحث الأمريكي تايلور Taylor F. B فقد أوضح بأن أجزاء عظمى من قارات أمريكا الشمالية وأوروبا وآسيا كانت ملتحمة مع بعضها البعض في كتلة قارية قديمة أطلق عليها اسم كتلة لوراسيا Laursia.

وقد اتفقت الدراسات الجيولوجية على أن يابس القسم الشمالى من العالم القديم (قبل العصر الكربونى) كان يتألف من قارتين، أحدهما تقع في الغرب وأطلق عليها اسم كتلة اركتس Arctis والآخرى تقع في الشرق وأطلق عليها اسم كتلة انجارا Angara أما يابس القسم الجنوبي من الكرة الأرضية فكان يتألف قديما من كتلة قارية عظمى، أطلق عليها اسم كتلة جندوانا Gondwana وقد أجمعت نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة، على أن هذه الكتل القارية العظمى القديمة تعرضت للانقسام والزحزحة الافقية منذ بداية العصر الكربونى تقريبا، وأخذ بعضها يتباعد عن البعض الآخر. وفي مواقعها الجديدة التي استقرت عندها تلك الكتل، وبعد أن توقفت عمليات زحزحتها، أخذت تنمو بالتدريج نتيجة لإضافة أجزاء جديدة من اليابس إلى أطرافها وهوامشها. وهكذا كانت ولا تزال تعد أجزاء تلك الكتل القارية القديمة النواة التي نمت وتنمو عليها كل من القارات الحديثة التي تظهر اليوم فوق سطح الأرض.

ومن دراسة التوزيع الجغرافي للكتل القارية القديمة لمجدها مثلثة وفي قارة اوروبا حيث تظهر هنا كتلة فينو - سكانديا Fenno - Scandia (الكتلة الفنلندية - البلطية) وكتلة الرصيف الروسى. وفي قارة آسيا تمتد كتلة سيبيريا في القسمين الشمالى والشرقى والشمالى منها، وكتلة الصين في القسم الشرقى، وكتلة الدكن في القسم الجنوبى من آسيا. هذا وتمتد كتلة غرب أستراليا في قارة أستراليا، وكتلة جنوب أفريقية في قارة أفريقية، وكتلة شرق البرازيل وكتلة جيانا في قارة أمريكا الجنوبية، وكتلة لورانشيا (الكتلة الكندية) في قارة أمريكا الشمالية (شكل 1).



شكل (1) التوزيع الجغرافي للكتل القارية القديمة المستقرة

وليس من الحكمة في دراستنا هذه أن نقوم بعرض دراسة وصفية تفصيلية لجميع الكتل القارية، أو لكل منها على حدة، ذلك لأن جميع هذه الكتل القارية المستقرة تتشابه جيولوجيا وتشترك مع بعضها البعض في كثير من الخواص الجيولوجية والجغرافية، أو بمعنى آخر تكاد كل كتلة قارية منها تضم نفس الخصائص الجيولوجية والجغرافية التي يمكن أن تلاحظ في غيرها من الكتل القارية الأخرى. ومن ثم يمكن في هذا المجال بدلا من القيام بالدراسة الوصفية لكل كتلة قارية على حدة أن نوضح الخصائص الجيولوجية والجغرافية التي تتميز بها الكتل القارية وتميزها عن غيرها من النطاقات الجيولوجية الأخرى فوق سطح الأرض. وهذا لا يمنع أيضا من أن نقوم بعرض للتطور الجيولوجي والخصائص العامة لأحدى هذه الكتل - ولتكن الكتلة اللورنشية - كنموذج تطبيقي دراسي لبقية الكتل القارية الأخرى. وتتلخص الخصائص المشتركة العامة للكتل القارية في النقاط التالية:

#### 1. التركيب الصخري:

تتألف الكتل القارية المستقرة من صخور قديمة العمر الجيولوجي يرجع أغلب مجموعاتها إلى عصر ما قبل الكمبري Pre - Cambrian - وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة بأنه كلما كانت تلك الصخور أقدم عمرا جيولوجيا، فإنها تصبح أعظم صلابة وأشد تماسكاً عن غيرها من مجموعات الصخور الأخرى. كما تبين كذلك بأن الصخور الرسوبية في تلك الكتل القديمة نتيجة لعظم طول عمرها الجيولوجي وتعرضها لعمليات الضغط الشديدة بفعل الرواسب اللاحقة عمراً والتي تراكمت فوقها خلال بعض الفترات الجيولوجية، ونتيجة لتداخل مصهورات نارية فيها، تعرضت بشدة لعمليات التحول الصخري وأصبحت صخوراً متحولة.

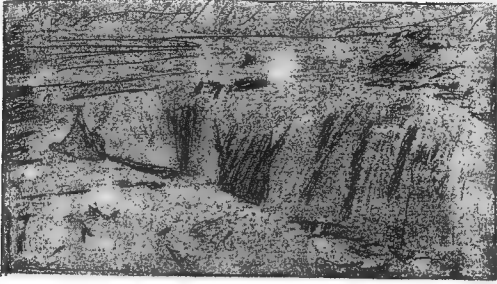
وتشتمل الكتل القارية المستقرة جيولوجيا على مجموعات متنوعة من صخور ما قبل الكمبري ومن بين أكثر أنواع الصخور شيوعاً في الكتل القارية صخر النيس. وهذا الصخر الأخير يتحول عن كل من الصخور النارية والصخور

الرسوبية، ويتداخل صخر الجرانيت في صخور ما قبل الكبرى القديمة على شكل عروق وسدود نارية. ومن بين أظهر الصخور الرسوبية في تكوينات الكتل القارية المستقرة صخور رملية خشنة الحبيبات تعرف باسم الجراى واكى Gray - wacke. هذا إلى جانب صخور مختلفة أخرى منها صخور المجمعات (الكونجلومرات) Conglomerates، والكوارتزيت، والاردواز، والفيليت، والشيست).

وفي القسم الأسفل من عصر ما قبل الكمبرى نلاحظ مجموعة أخرى من الصخور تأثرت بعمليات تحول بدرجات أقل من بعض الصخور السالفة الذكر، ومن بين هذه المجموعة من الصخور، الحجر الرملى الصلب، والدولوميت، والحجر الجيري الصلب، والصلصال.

## 2. قدم العمر الجيولوجى:

من أهم الخصائص الجيولوجية المميزة لجميع الكتل القارية المستقرة فوق سطح الأرض أنها قديمة العمر الجيولوجي، وأن معظم صخورها كما اتضح من قبل ترجع إلى فترة ما قبل الكمبرى. ويقدر الجيولوجيون العمر الجيولوجى النسبى لصخور فترة ما قبل الكمبرى بدراسة تأثير فعل العناصر المشعة - Radio active Elements مثل اليورانيوم والثوريوم والرايديدوم والبوتاسيوم في الصخور القديمة ومن نتائج هذه الدراسات تبين أن أقدم صخور ما قبل الكمبرى بالكتل القارية القديمة في جنوب افريقية يرجع عمرها إلى نحو 3300 مليون سنة، وفي الكتل اللورنشية إلى نحو 3400 مليون سنة، وفي الكتلة البلطية إلى نحو 3500 مليون سنة، وفي كتلة غرب استراليا إلى نحو 3000 مليون سنة (شكل 2).



شكل (2) الصخور النارية والمتحولة القديمة لكتلة غرب أستراليا - لاحظ تكوين الجذور الجبلية النارية القديمة

### 3. الجذور النارية القديمة:

من دراسة التركيب الجيولوجي للكتل القارية المستقرة جيولوجيا يتضح أن هناك بعض نطاقات من صخور الجرانيت مبعثرة في مناطق متفرقة وخاصة بالقسم الاوسط من الكتل القارية. وتبدو صخور الجرانيت شديدة التأثير بفعل عوامل التعرية التي نجحت في تسوية الكتل الجرانيتية وإزالة الكثير من تكويناتها. واكد الباحثون بأن معظم تكوينات الجرانيت في الكتل القارية المستقرة تمثل في الواقع جذوراً نارية قديمة Ancient Lgneous Roots لمرتفعات وسلاسل قديمة العمر الجيولوجي. وقد نجحت عوامل التعرية في إزالة الكثير من تكوينات هذه الجذور الجبلية خلال الازمة الجيولوجية الطويلة.

واكد الاستاذ والتون مات Walton Matt عام 1959، بأن صخور الجرانيت في كتل ما قبل الكمبري المستقرة جيولوجيا لا تبدو بأنها تكونت على أعماق بعيدة - كما هو معروف عامة عن صخور الجرانيت - ولكنها ربما تكونت نتيجة لتعرض صخور متحولة لعمليات تحول شديدة أكثر من مرة. وهكذا



ظهرت حديثاً مشكلة جديدة في الدراسة الجيولوجية تعرف بمشكلة نشأة الجرانيت The Granite Problem.

وقد لاحظ والتون مات حقيقة أخرى، وهي أن صخور الجرانيت التي تمثل جذور المرتفعات القديمة في الكتل القارية توجد غالباً في اواسط تلك الكتل ولا تمثل عند أطرافها، وإن دل هذا على شيء فأنما يدل على أن تلك النطاقات الجرانيتية الجبلية هي عبارة عن قلب الكتل القارية القديمة Heartlands. أما التكوينات الجرانيتية الممتلئة عند هوامش الكتل القارية فتعزى نشأة الكثير منها إلى تداخل المصهورات النارية في صخور الكتل القارية خلال أزمنة جيولوجية مختلفة.

ومن ثم أوضح (مات) بأن الكتل القديمة المستقرة كانت تتألف عند بداية تكوين قشرة الأرض، ونشأة اليابس من صخور نارية تمثل في صخور باطن الأرض الأولية التي تعرضت لعمليات البرودة التدريجية. وبفعل عوامل التعرية والتجوية الشديدة خلال فترة ما قبل الكامبري بمراحل بعيدة، تعرضت الصخور للتفتت والتحلل وتجمعت المقتاتات والرواسب وتكونت الصخور الرسوبية حول الكتل النارية القديمة. واستمرت هذه الصخور الأخيرة تتجزأ وتفتت بفعل عوامل التعرية حتى لم يبق منها في الوقت الحاضر سوى بقايا متناثرة تدل على أنها كانت جذوراً لسلاسل جبلية نارية قديمة. أما الصخور الرسوبية الخطامية القديمة حول تلك التكوينات النارية فقد تعرضت بدورها لعمليات التحول الصخري، وأصبحت عظيمة الصلابة وتمثل نسبة كبيرة من جملة تكوينات الكتل القارية المستقرة القديمة.

#### 4. الكتل القارية القديمة نواة للقارات الحديثة:

إذا كانت الجذور النارية هي قلب الكتل القارية، فإن الأخيرة تعد بدورها النواة الرئيسية Nuclei or Cores التي نمت حولها كل من قارات العالم المختلفة. ومن ثم نلاحظ عند دراسة مراحل القارات المختلفة بأن كلا منها مركب من نطاقات صخرية حديثة العمر الجيولوجي، تحاط بالكتل القارية القديمة جيولوجياً. فنمت قارة أمريكا الشمالية حول نواتها القديمة الممتلئة في الكتلة

اللورنشية، في حين عظم اتساع قارة أمريكا الجنوبية بعد اضافة مساحات جديدة من اليايس الحديث العمر جيولوجيا إلى كل من كتلتى البرازيل وجيانا. وكذلك الحال بالنسبة لنمو قارة أوربا حول الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى، ونمو قارة آسيا حول كتل سيبيريا والصين والدكن، ونمو قارة أستراليا حول كتل غرب أستراليا، ونمو قارة أفريقية حول كتلة جنوب أفريقية.

##### 5. انتشار بقايا السهول التحاتية القديمة:

حيث إن التكوينات الصخرية للكتل القارية ظهرت فوق سطح الأرض منذ فترات جيولوجية بعيدة، فإن عوامل التعرية عملت على تعرية أسطح هذه التكوينات، وأزالت المحدثات، ونجحت في النهاية من أن تكون سهولاً تحاتية قديمة العمر الجيولوجى. وما ساعد على عظم امتداد السهول التحاتية فوق تلك الكتل القارية عدم تأثرها بمركات رفع تكتونية تؤدي إلى تغيير المظهر التضاريسى لسطح الأرض، ومن ثم فقد عملت عوامل التعرية بحرية تامة في تشكيل المظهر التضاريسى العام لسطح الكتل القارية، ولا يتوقف مجموعات السهول التحاتية في الكتل القارية على تلك السهول الحديثة النشأة والتي تظهر بقاياها على سطح الأرض وتشكل المظهر العام لسطح الكتل القارية، بل كذلك هناك الكثير من بقايا السهول التحاتية القديمة التي ترجع إلى الزمن الجيولوجى الثانى، وتوجد مدفونة Exhumed أسفل التكوينات والارسابات الحديثة. وتكتشف بقايا السهول التحاتية القديمة عند ازالة بعض أجزاء من الارسابات الحديثة التي تراكمت فوقها.

ومن بين أظهر بقايا السهول التحاتية القديمة التي يعزى بعضها إلى الزمنين الجيولوجيين الاول والثاني، تتمثل في القسم الجنوبي الغربى من الكتلة البلطية، والقسم الشمالى من كتلة سيبيريا. وقد أوضح الاستاذ لاستر كنج L. C. King بأن أعظم بقايا السهول التحاتية القديمة العمر الجيولوجى وأكثرها انتشارا تتمثل في القسم الجنوبي من كتلة افريقية. وحسب دراسات لاستر كنج تبين أن هناك بقايا لسهل تحاتى قديم تكون خلال العصر الكربونى فوق كتلة جندوانا، وأطلق

عليه اسم ما قبل الكارو Pre - Karoo Surfaces، ولا تزال معظم بقايا هذا السهل التحتاني مدفونة أسفل التكوينات الصخرية الاحداث عمراً.

وقد عثر كنج فوق بعض أجزاء من بقايا هذا السهل القديم على أدلة جيولوجية تثبت تشكيلة بفعل جليد العصر الكربوني، وأوضح كنج بان أقدم السهول التحتانية في كتلة جنوب أفريقية هو سهل جندوانا Gondwana Surface، ويتراوح منسوبه فيما بين 5000-7000 قدم فوق مستوى سطح البحر الحالي وتمتد بقايا هذا السهل القديم في باسوتولاند. وقد كان هذا السهل جزءاً من قارة جندوانا القديمة. كما ميز كنج كذلك مجموعة أخرى من بقايا السهول التحتانية القديمة في كتلة جنوب أفريقية، وأطلق عليها اسم سهل ما بعد جندوانا Post Godwana Surface، وتمثل بقايا هذا السهل الأخير على ارتفاع 2500-4000 قدم فوق مستوى البحر الحالي.

ولما كانت هناك أجزاء واسعة من بعض الكتل القارية القديمة تتميز بعظم استواء سطحها وانخفاض منسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر، فقد تأثرت الأجزاء الساحلية منها كثيراً بفعل طغيان البحر عليها، ولم تقتصر عملية تقدم البحر على بعض أجزاء من تلك الكتل خلال العصور القديمة، بل كذلك خلال عصر البلايوسين. فقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن القسم الشمالي من كتلة سيبيريا، وكتلة الرصيف الروسي وأجزاء واسعة من الكتلة البلطية، والقسم الشمالي من الكتلة اللورنشية كانت كلها عبارة عن رفارف قارية Continental Shelves خلال الفترات الدفينة الأولى من عصر البلايوسين وتبعاً للانخفاض التدريجي الذي تعرض له مستوى سطح البحر منذ نهاية عصر البلايوسين المحصرت مياه البحر عن هوامش الكتل القارية وتركت فوقها فرشاة واسعة من الرواسب البحرية.

## 6. الحركات التكتونية في الكتل القارية:

تبعاً لعظم صلابة صخور الكتل النارية القديمة فلا ينجم عن عمليات الرفع التكتونية فيها تجمع قشرة الأرض وثنيها أو طيها على شكل سلاسل

جبلية. ومن ثم لا تتمثل مظاهر الالتواءات الالبية الحديثة (المبوسينية) في أجزاء هذه الكتل المستقرة. ولكن ليس من الصواب أن نعتقد بأن الكتل القارية لن تتأثر بالحركات التكتونية أو لم تتأثر بها إطلاقاً وذلك لما يلي:

أ. قد ينجم عن بعض الحركات التكتونية الحديثة التي تعمل على ضغط وشد أجزاء من الكتل القارية القديمة تكوين مناطق تأثرت بشدة فعل التصدع Faulting، أو بمعنى آخر فإن الأجزاء الصلبة من صخور الكتل القارية عندما تتعرض للصدوع وزحزحة الطبقات أكثر من تعرضها للالتواءات أو تكوين ثنيات محدبة ومقعرة.

ومن أظهر المناطق الصاعدة في الكتل القارية القديمة، صدوع الأخدود الإفريقي العظيم في جنوب وشرق قارة أفريقية. وادت هذه الصدوع المركبة العظمى إلى تكوين الأغوار الحوضية الصاعدة. والمضارب البارزة الصاعدة. والصدوع السلمية العظمى في إقليم بحيرة بيكال بكتلة سيبيريا. والصدوع العظمى من منطقة شمال بحر قزوين ومنطقة أكرانيا بكتلة الرصيف الروسى.

ب. قد تتداخل المصهورات النارية في تكوينات الكتل القديمة خلال عصور جيولوجية مختلفة. وتظهر اما على شكل عروض وصدود نارية كما هو الحال في بعض أجزاء من الكتلة اللورنشية وكتلة جنوب أفريقية في باسوتولاند. أو على شكل قباب الباثوليت العظمى كما هو الحال في قباب الباثوليت بكتلة غرب استراليا. وتظهر أحيانا على شكل طفوح وفرشات هضبية بازلتية كما هو الحال في القسم الشمالي من كتلة الدكن.

ج. تعرضت معظم أجزاء الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية أدت إلى تكوين سلاسل جبلية قديمة العمر الجيولوجى (يتمى معظمها إلى الحركة الكارنية فيما قبل الكمبرى) وعملت عوامل التعرية خلال الفترات الجيولوجية الطويلة على تشكيل هذه المرتفعات وتسويتها. فخلال فترة ما قبل الكمبرى تعرضت الكتل اللورنشية لحركات رفع تكتونية من بينها ما يعرف باسم الحركة اللورنشية Laurenian، والحركات الكيواتية Keewatin. وتأثرت الكتلة البلطية

وكتلة الرصيف الروسى بحركات رفع تكتونية قديمة تعرف باسم الحركة اللويزية Lewisian والحركة المارلية Marealbian وحركة جوثيك Gothic. ومن بين الحركات التكتونية لفترة ما قبل الكامبرى التي تتأثر بها كتلة جنوب أفريقية حركة سوازى لاند Swazilan وحركة سيراليون Sierra Leone.

#### 7. الكتل القارية القديمة وأثرها في تشكيل اتجاه السلاسل الالتوائية الالية الحديثة:

ان كانت الكتل القارية القديمة المستقرة لم تتأثر بحركات الرفع التكتونية الميوسينية، ولم ينتج فيها ملامح واضحة للسلاسل الجبلية الالية. فان كتل صخورها الصلبة لها بعض الاثر في تشكيل اتجاه بعض السلاسل الالتوائية الالية فمن دراسة التوزيع الجغرافى لهذه السلاسل الجبلية الاخيرة يتضح أن معظمها يتخذ شكل أقواس تحيط بهوامش الكتل القارية الصلبة. ففى أمريكا الشمالية تمتد السلاسل الجبلية الميوسينية على شكل أقواس حول القسم الغربى من الكتلة اللورنشية وتعرف هنا باسم مرتفعات ماكينزى Mackenzie وسلاسل الروكى Rocky وتمتد مرتفعات الانديز على شكل قوس عظمى حول الاطراف الغربية لكتلتى جيانا والبرازيل. وتمتد مرتفعات اورال والكربات والالب في قارة اوروبا حول كتلة الرصيف الروسى. اما في قارة آسيا فتمتد السلاسل الالية الميوسينية ومنها مرتفعات تيان شان حول الاطراف الجنوبية لكتلة سيبيريا. وتمتد الاقواس العظمى للهملايا إلى الشمال من كتلة الدكن، وعندما تقابل سلاسل الهملايا كتلة الصين الصلبة في الشرق، تنحرف على شكل اقواس جبلية عظمى تمتد من الشمال إلى الجنوب في منطقة اعلى انهار سالوين وميكونج، وتعرف هنا باسم سلاسل اركانيوما وباسم سلاسل دوانا في شمال شبه جزيرة الملايو، وبسلاسل سومطرة في جزيرة سومطرة.

#### الكتلة اللورنشية القديمة.

تشغل الكتلة اللورنشية Laurentian Shield أو كما يطلق عليها أحيانا اسم الكتلة الكندية نحو نصف مساحة قارة أمريكا الشمالية بل تمتد أبعادها

شمالاً وتضم مجموعة جزر الارخبيل الواقعة إلى شمال خليج هدسن ومعظم أجزاء جزيرة جرينلند، وتمتد الكتلة جنوباً على شكل قوس عظيم يحده خط من البحيرات الجليدية النشأة وتشمل من الغرب إلى الشرق بحيرات جريت بير Great Bear وجريت سليف Great Slave واثاباسكا Athabasca ووينيبج Winnipeg ثم مجموعة البحيرات الخمس العظمى وتشمل بحيرات سويريو Superior ومنتجن Michigan وهورن Huron وإيرى Erie واثاريو Ontario ومعظم القسم الأدنى من حوض نهر سنت لورنس.

وتعتبر الكتلة اللورنشية اصدق مثال لمجموعة الكتل القديمة جيولوجياً. فتتألف تكوينات هذه الكتلة من صخور ما قبل الكامبري ومعظمها عبارة عن صخور رسوبية تعرضت لعمليات التحول، واصبحت تنتمي لمجموعة الصخور المتحولة، وتحللها جذور نارية لمرتفعات قديمة تم إزالتها بفعل عوامل التعرية كما يتداخل في بعض أجزاء هذه الصخور عروق وسدود نارية مختلفة، ولم تتأثر هذه الكتلة بحركات الرفع التكتونية الالوية الحديثة إلا أنها تشكلت بالصدوع العظمى وخاصة بالجانب الشرقي منها في هضبة ليرادور. وتبعاً لاستقرارها تكتونياً وشدة فعل عوامل التعرية لفترة جيولوجية طويلة تميزت الكتلة بعظم استواء سطحها، وقلة منسوبها وتكونت فيها سهول تحاتية قديمة. كما تشكل القسم الشمالي من الكتلة اللورنشية بتذبذب مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوسين، وطفى البحر على جزء كبير منها وادى ذلك إلى تكون مجموعات جزر الارخبيل إلى الشمال من خليج هدسن. كما عظم تشكيل سهول الكتلة اللورنشية القديمة بفعل الجليد البلايوسينى، وغطيت أجزاء واسعة منها بالركامات الجليدية. وتبعثرت فوقها الكثير من البحيرات الجليدية النشأة.

قد غمت قارة أمريكا الشمالية حول الكتلة اللورنشية وأخذت مساحة القارة تزداد من فترة جيولوجية إلى أخرى نتيجة لإضافة مناطق جديدة من اليابس حول أطراف الكتلة القارية القديمة. ويمكن أن نلخص مراحل التطور الجيولوجي للكتلة اللورنشية وبالجغرافية قارة أمريكا الشمالية في النقاط التالية:

1. بعد أن انفصلت كتلة أركتس وتزحزت بعض بقاياها غرباً أصبحت الكتلة اللورنشية عبارة عن قلب أمريكا الشمالية Heartlands أو نواتها المركزية. وتمتد منطقة النواة القديمة هذه من شبه جزيرة لبرادور Labrador في الشمال الشرقي إلى أراضي وايومنغ Wyoming في الجنوب الغربي. وتتألف هذه المنطقة من صخور رسوبية ومتحولة قديمة ويتداخل فيها عروق وسدود نارية من الجرانيت ويتمثل فيها كذلك جذور جبلية نارية. ويتراوح عمر هذه التكوينات الصخرية من 2.0-2.8 بليون سنة. وترتفع نسبة السليكات في هذه التكوينات الصخرية القديمة وتقل فيها نسبة الكربونات.

وتشكلت الكتلة اللورنشية بحركات رفع تكتونية خلال الزمن الأركي أو الأوزوي Archeozoic or Eozoic، وادى ذلك إلى تكوين سلاسل مرتفعات كورديليرا القديمة، وانكستال، وسينسيناتي، ونيوبرونزويك. وقد تعرضت هذه المرتفعات لفعل عوامل التعرية الشديدة، كما أن بعض تكويناتها غطيت بالرواسب الأحدث عمراً.

وفي نهاية فترة البرنزوي Proterozoic (نهاية ما قبل الكمبري) تعرضت الكتلة اللورنشية لحركات تكتونية أخرى تتمثل فيما يلي:

- أ. فترة سدبريان Subbaryan وأدت إلى تكوين سلاسل جبلية.
- ب. فترة هورنيان Huronian وأدت إلى حدوث نشاطات بركانية.
- ج. فترة كوينانوان Keweenawan وترسبت خلالها رواسب الحديد والنحاس في منطقة سويريرو.

2. بعد هذه المرحلة الأولى استقرت النواة القديمة تكتونيا، وتعرضت لفترة طويلة لفعل عوامل التعرية وتجمعت الكثير من الفتحات الصخرية حول النواة المركزية للقارة وتماسكت وكونت نطاقاً من الصخور العظمى، كما تداخلت فيها بعض التكوينات النارية الجرانيتية. ومن ثم تكون نطاق أراضي تشرشل Churchill (التي تشرف على خليج هدسن) والولايات الوسطى في أمريكا الشمالية. وتدخل أراضي تشرشل في بناء قسم كبير من الكتلة اللورنشية. في

حين غطت الصخور القديمة لمناطق الولايات الوسطى في الولايات المتحدة الأمريكية برواسب أحدث عمراً ومع ذلك فقد تظهر بعض أجزاء من هذه الصخور القديمة العمر الجيولوجي فوق سطح الأرض إذا ما تعرضت لحركات رفع تكتونية كما هو الحال في الأطراف الشرقية الوسطى لسلاسل الكوردلييرا، وتلال بلاك Black Hills، وجبال أوزارك Ozark Mts، وفي بعض أجزاء من حوض أخدود كلورادو العظيم. وتتألف صخور هذا النطاق من اللافا الحمضية الغنية بالسليكات، وصخور الأوكوز Arkoses، والجراى واكى Gray Wackes والدولوميت Dolomite ويتراوح عمرها الجيولوجي من 1.8-2.5 بليون سنة.

3. ثم جاءت بعد ذلك مرحلة جديدة أدت إلى بناء صخور منطقة جرنفيل Grenville والتي يرجع عمرها إلى نحو بليون سنة مضت. وتكون عند نهاية هذه المرحلة أكثر من 60% من جملة مساحة أمريكا الشمالية. وامتدت أراضي القارة من لبرادور في الشمال الشرقى إلى المكسيك في الجنوب الغربى. وتنتمي صخور جزيرة جرينلاند إلى نفس هذه الحقبة من الزمن الجيولوجى. وأهم تكوينات هذه الفترة القديمة تتمثل في صخور رسوبية قديمة العمر الجيولوجي ويتداخل فيها عروق وسدود جرانيتية وبعض تكوينات الكوارتزيت كما تظهر بعض الحفريات المتناثرة في الصخور الرسوبية ومن أهمها مجموعة الطحالب الجيرية Calcareous Algae.

4. وبعد مرحلة جرنفيل بدأت فترة جديدة ترسبت خلالها كميات هائلة من الفتتات الصخرية الحطامية، وخاصة في منطقة البحيرات الأمريكية. وتكونت في هذه المنطقة الأخيرة نطاقات واسعة من صخور المجمعات وخاصة صخور مجمعات جوجاندا Gowganda Conglomerate والتي تحتوى على كثير من الأدلة التي تشير إلى حدوث عصر جليدي قديم خلال فترة ما قبل الكامبرى Cambrian Glaciation ويرجع بعض الجيولوجيين بأنه تكون في تكوينات الكتلة اللورنسية خلال تلك الفترة كثير من المعادن وخاصة الذهب في منطقة



اوتاريو ومنطقة كويك وبعض خامات النيكل والنحاس واليورانيوم المبعثرة في مناطق مختلفة.

5. ثم بامتلاء الاحواض الجيولوجية البحرية القديمة Geosynclines بالرواسب خلال الزمنين الثالث والرابع، وتعرض هذه الرواسب الهائلة الحجم لحركات الرفع التكتونية في الزمن الثالث تكونت سلاسل الكورديليرا العظمى والتحمت مع الكتلة اللورنشية، وظهرت أبعاد القارة بشبه مساحاتها الحالية وفي عصر البلايوستوسين تشكلت سواحل القارة بظواهر جيومورفولوجية مختلفة نتيجة لتذبذب مستوى سطح البحر من فترة إلى أخرى، كما عمل جليد عصر البلايوستوسين هو الآخر على تشكيل المظهر التضاريسي العام للكتلة اللورنشية خاصة، ولقارة أمريكا الشمالية عامة.

ثانياً: مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة بأن السلاسل الجبلية العظيمة التي تظهر بارزة فوق سطح الأرض اليوم، قد ترسبت موادها وصخورها (قبل تعرضها لعمليات الرفع التكتونية) في أحواض بحرية تكتونية عظمى تعرف باسم Geosynclines ويعد الجيولوجي الأمريكي جيمس هول James Hall أول من أشار علمياً إلى هذه الحقيقة، حيث تبين أن سمك كل من الطبقات الصخرية المختلفة في المناطق الجبلية الالتوائية أعظم بكثير من سمك نفس هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية المجاورة. وأوضح هول بأن الصخور العليا من الزمن الجيولوجي الأول بمرتفعات الابلش يبلغ متوسط سمكها نحو أربعة أضعاف سمك نفس هذه الصخور بالسهول الساحلية الشرقية لأمريكا الشمالية. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة كذلك بأن سمك كل من مجموعات الطبقات الصخرية في مرتفعات الالب الروكي والانديز والهمالايا والأورال يتراوح عادة من 6 إلى 9 أميال، في حين لا يزيد سمك كل من نفس هذه المجموعات الصخرية ولكن بالأراضي السهلية المجاورة عن بضعة آلاف من الأقدام فقط.

ومن دراسة التركيب الجيولوجي للطبقات الصخرية بالمناطق الجبلية الالتوائية ومقارنتها بنظائرها في المناطق المنخفضة السطح، تبين أن الأولى تتميز كذلك بعظم تجانس الصخور في الأجزاء الوسطى من كتلتها، في حين تشكل جوانبها بمتفتتات صخرية رملية وصلصالية ومواد حطامية وصخور المجمعات وكلها نتجت أساسا تبعا لتعرض الصخور الأصلية لعوامل التعرية عند أطرافها الهامشية. كما تتميز الطبقات الصخرية الرقيقة السمك في المناطق غير الالتوائية بعدم تجانس كبير بين أجزاء صخورها المختلفة. (شكل 3)

بالإضافة إلى هذه الملاحظات السابقة تبين أن الحفريات المثلثة في الطبقات الصخرية الواحدة تختلف عائلاتها كذلك إذا ما كانت في الصخور السمكية الالتوائية أو بصخور المناطق السهلية الرقيقة السمك.



شكل (3) الأحواض الجيولوجية العظمى وتجمع الرواسب العظيمة السمك فوق قاعها. وتتميز هذه الرواسب كذلك بتجانسها وحفرياتها من نوع تلك التي تعيش في المياه العميقة كما قد يتداخل في تلك التكوينات مصهورات نارية.

فعائلات الحفريات في الصخور الأولى تتميز بكونها من الأنواع التي تعيش في المياه العميقة بينما في الثانية تعد من الكائنات التي كانت تعيش في المياه الضحلة. وتبعا لهذه النتائج المختلفة تؤكد الجيولوجيون بأن الصخور الالتوائية العظيمة السمك تجمعت أصلا في أحواض بحرية تكتونية عظيمة العمق Geosynclines وتراكمت فيها الرواسب الصخرية بصورة تدريجية، ثم تعرضت بعد ذلك لعمليات الرفع التكتونية التي أدت إلى ظهورها على شكل سلاسل جبلية عظيمة الارتفاع، وفي نفس الوقت تتركب من طبقات صخرية عظيمة

السك بالنسبة لنفس نوع هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية التي لم تتأثر بحركات الرفع التكتونية.

ويرجع الفضل كذلك إلى الاستاذ الجيولوجي هوج Haug في تحقيق دراسات هول Hall وتفسير نشأة السلاسل الجبلية وكيفية تطور نموها. وكان للدراسات التي قام بها كل من ييلي Baiey عام 1935، ودالي Daly عام 1928. امجروف Umbgrove عام 1947 الفضل الكبير في تعديل آراء هول Hall، وتفسير بنية القشرة الأرضية ونشأة السلاسل الجبلية وايضاح مراحل نموها.

وقد أوضح هوج Haug من نتائج دراسته لسك الصخور الارسابية في البحار الجيولوجية القديمة. ومجموعات الحفر التي تمثل فيها، بأن هذه البحار كانت تمتد على شكل السنة طويلة محدودة الاتساع الا أنها عظيمة العمق والطول وتحيط بالكتل القارية القديمة (شكل 4) ومن أظهر هذه البحار الجيولوجية القديمة بحر تنش التي تمثل بقاياها في البحر المتوسط وكان يفصل بين الكتل القارية في أوربا شمالا وكتلة أفريقية جنوبا، ويطلق على القسم الشرقي منه بحر الهيمالايا، وكان يفصل بين كتلة سيبيريا في الشمال وكتلة الدكن في الجنوب. وفي الأمريكتين كان يمتد بحر الروكي - الانديز الجيولوجي العظيم، وقد كان بحرا طويلا يشغل القسم الغربي من القارتين. ومن بين البحار الجيولوجية القديمة الاخرى بحر أورال الذي كان يفصل بين كتلة سيبيريا شرقا وكتلة الرصيف الروسي غربا، وبحر موزمبيق وجزر الهند الشرقية.

وبعد أن تجمعت كميات هائلة من الرواسب فوق أرضية تلك البحار الجيولوجية القديمة تعرضت لحركات رفع تكتونية عظمى، أدت إلى رفع قاع المحيطات القديمة واثناء الطبقات الارسابية العظمى والتوائها على شكل سلاسل جبلية عالية. وقد عظمتم تلك الحركات التكتونية خلال الزمن الجيولوجي الثالث، وأدت إلى تكوين مجموعة السلاسل الجبلية الالبية التي كانت بمثابة مواد لاحمة ضمت أجزاء الكتل القارية مع بعضها البعض وأدت إلى نمو القارات بشكلها الحالي، وتشكيل المظهر التضاريسي العام لسطح قشرة الأرض.



التاريخ الجيولوجي أدت إلى بناء السلاسل الجبلية التي نراها تشكل على سطح الأرض اليوم.

ولا يتوقف تأثير حركات الرفع التكتونية على السلاسل الجبلية العالية التي نراها فوق سطح الأرض اليوم. بل هناك آثار لحركات تكتونية قديمة جدا (خلال فترة ما قبل الكامبري) عملت عوامل التعرية على تشكيل مظهرها، وإزالة محدباتها وثنياتها وأصبحت تبدو على شكل سهول عظمى، وقثل نطاقات واسعة من الكتل القارية القديمة. وعلى الرغم من تعرض هذه السلاسل الجبلية القديمة لفعل عوامل التعرية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجي، وأصبحت تظهر على شكل سهول عظمى، إلا أن تركيبها الجيولوجي لا يزال يدل على مظهرها الأولي القديم، ويمكن للباحث الجيولوجي أن يدرك الصورة الأصلية لمثل هذه التكوينات الالتوائية القديمة، عند دراسته للتركيب الصخري وبنية طبقات تلك المناطق.

وفيما يلي عرض موجز عن طبيعة الحركات وما سببته في تشكل القشرة الأرضية.

#### أ. التواءات ما قبل الكامبري Pre - Cambrian Orogenesis:

تعد صخور ما قبل الكامبري النواة التي تركزت عليها الصخور اللاحقة عمرا والتي تكونت حولها القارات المختلفة. وتتركب تكوينات هذه الفترة عامة من الصخور الرسوبية، إلا أنه تبعا لعمرها الجيولوجي البعدي تعرضت كثيرا لعمليات التحول الصخري، ومن ثم أصبحت صخور هذه الفترة تتألف أساسا من النيس والشيست والارذواز والرخام والكونجلومرات (صخور المجمعات) القديمة العمر الجيولوجي.

وظل الجيولوجيون يعتقدون بأن أولى الحركات التكتونية التي انتابت قشرة الأرض حدثت في النصف الأخير من الزمن الجيولوجي الأول. ولكن أكدت الدراسات الجيولوجية في أقاليم شارنود فورست Charnwood Forest وتلال مالفرن Malvern Hills، ومرتفعات جرامبيان Grampians في الجزر البريطانية،

على أن هذه المرتفعات قديمة العمر الجيولوجي وتكونت جذورها خلال بداية العصر الكمبرى. وأطلق الجيولوجيون على هذه الحركة التكتونية القديمة اسم الحركة الكارنية Charnian Orogenesis.

وسرعان ما أكدت الدراسات الجيولوجية والسيسمولوجية الحديثة حدوث حركات تكتونية أقدم عمرا من الحركة الكارنية في أجزاء مختلف من القارات وتمثل جذورها من القشرة الخارجية للأرض وإن كانت أسطحها تشكلت تماما بفعل عوامل التعرية المختلفة. ويمكن حصر أهم هذه الحركات فيما يلي:

1. تعد أقدم الحركات التكتونية المعروفة الآن في أمريكا الشمالية تلك التي حدثت خلال الفترة من 2600 إلى 2400 مليون سنة مضت، وتعرف باسم الحركة اللورنشي Laurentian، والحركة الكيواتية Keewatin، ويقابل هذه الحركات التكتونية في أوروبا، الحركة اللويزية Lewisian، والحركة المارلية Marelbian.

2. أكدت الدراسات الجيولوجية وجود تشابه كبير بين الحركات التكتونية القديمة في جنوب أفريقية وغرب أستراليا وشبه القارة الهندية. وقد تشكلت هذه المناطق القارية جميعا بحركات تكتونية عنيفة خلال الفترة من 3200 إلى 2600 مليون سنة مضت. وأهم هذه الحركات التكتونية في أفريقية هي حركات سوازي لاند Swaziland، وسيراليون Sierra Leone، وبولاوايان Bulawayan وروديسيا Rhodesia.

3. وتميزت الفترة من 2400 إلى 2000 مليون سنة مضت بهدوء قشرة الأرض نسبيا، ولكن الفترة 1800 إلى 1500 مليون سنة مضت انتابت قشرة لأرض حركات تكتونية عظيمة من جديد، وعرفت في أمريكا الشمالية باسم حركات أثاباسكا Athabasca، والهورنية Haronian، والسد برية Sudbury. ويقابل هذه الحركات التكتونية في أوروبا حركات اكرانية الصغرى Younger Ukrainian والسفوكوفنية Svcofennian، والكارلية Karelian.

4. ومنذ نحو 1000 مليون سنة مضت تعرضت قشرة الأرض لحركات تكتونية من جديد، كان أهمها من أمريكا الشمالية حركة جرنفيل Grenville، وفي أوروبا حركة جوثيك بالترويج Gothic وفي افريقية حركة كيبان Kibaran وفي الهند حركة ستبورا Satpura.

#### ب. الالتواءات الكاليدونية Caledonian Orogenesis:

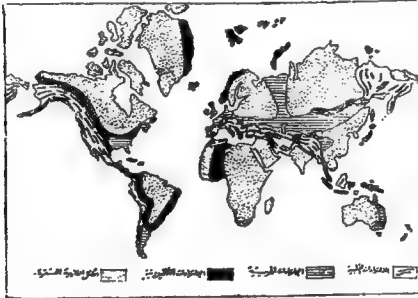
شغلت هذه الالتواءات الفترة الجيولوجية الممتدة فيما بين السليوري والديفوني. واشتق اسمها من مرتفعات كاليدونيا في اسكتلندا والتي تمثل أحسن أمثلة هذه المجموعة من الالتواءات القديمة. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية تشابه نظام البنية والتركيب الجيولوجي بين كل من تكوينات اسكتلند، وشبه جزيرة اسكنديناوة، مما جعل بعض الجيولوجيين أن يرجح بأنهما كانتا أرضا واحدة ثم هبطت بعض أجزائها وشغل بحر الشمال تلك الأراضي الهابطة.

ومن ثم تمتد سلاسل الحركة الكاليدونية في شمال غرب أوروبا في اتجاه عام من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي، وتظهر مرتفعاتها في جزيرة ايرلند، واسكتلند، والقسم الشمالي من إنجلترا، وشمال ويلز، والقسم الغربي من شبه جزيرة اسكنديناوة وخاصة في مرتفعات اسكنديناوة. ويحد هذه الجبال الأخيرة خط بحيرات جلينت Glinite Line الذي يفصل بين مناطق المرتفعات الالتوائية الكاليدونية والكتلة البلطية القارية القديمة.

أما في قارة آسيا فتظهر نتائج الالتواءات الكاليدونية في بعض أجزاء من مرتفعات سيبيريا وخاصة مرتفعات كوليمان في الشمال الشرقي ومرتفعات جنوب بحيرة بيكال ومرتفعات بوريات Buryat، ومرتفعات سايان Sayan التي تشغل الحوض الأعلى لنهرى أوكا والجاراء، وفي السلاسل الجبلية التي تتمثل على الجانب الشرقي من الحوض الاوسط لنهر لينا. وتظهر السلاسل الجبلية الكاليدونية في أفريقيا خاصة في الصحراء الكبرى بمنطقة مرتفعات جورارة. كما تظهر في مرتفعات جنوب شرق استراليا في ولاية نيوسوث ويلز. أما في أمريكا الشمالية فتتمتد الالتواءات الكاليدونية في هضبة يدمنت والسفوح الجنوبية

الشرقية لمرتفعات الابلاتش، وفي المناطق الهضبية الغربية الممتدة بين إقليم نيو انجلند حتى إقليم فرجينيا.

وقد صاحب الحركات التكتونية الكاليدونية ثورانات بركانية عظمى أدت إلى تكوين نطاقات كبرى من السدود الرأسية والعروق والبراكين. وترجع التكوينات اللافية التي تتمثل تحت قاع المحيط امام سواحل كورنول وديفون وكذلك بعض القمم الجبلية البركانية (بن نفيس Ben Nevis - جلين سوى Glen Coe - أوبان Oban - سيدلو Sidlaw اوشيل Ochil) في بريطانيا الى الثورانات البركانية الكاليدونية (شكل 5).



شكل (5) المناطق المستقرة (الكتل القارية القديمة) وغير المستقرة من قارات العالم (مناطق الالتواءات الكاليدونية والمهرسينية والالابية).

#### جـ. الالتواءات المهرسينية Hercynian Orogenesis:

حدثت هذه الحركات التكتونية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجي امتدت من العصر الفحمي أو الكربوني Carboniferous حتى بداية العصر البرمي Permian. ومن ثم لم تحدث هذه الحركات على دفعة واحدة بل ظهرت دورتها خلال مراحل متعاقبة فيما بين هذين العصرين. ويطلق على هذه الحركة



الالتوائية العظمى أسماء متعددة منها الحركات الارموريكية Armorican وخاصة في الجزر البريطانية وفرنسا، في حين يطلق عليها اسم الحركات الهرسينية Hercyniau أو الحركات الفارسية Variscan في بقية أجزاء أوربا.

وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن الحركة الهرسية صاحبها كثير من عمليات التصدع الشديدة. وشكلت الصدوع المركبة الطبقات الصخرية التي تعرضت للانشاء والالتواء. وشكلت الصدوع المركبة الطبقات الصخرية التي تعرضت للانشاء والالتواء. ومن ثم نجحت عوامل التعرية في ازالة الكثير من تكوينات هذه الصخور وخاصة على طول اسطح الصدوع وفي مناطق الضعف الجيولوجي وأصبحت تبدو اليوم على شكل هضبات صدعية مخرسة.

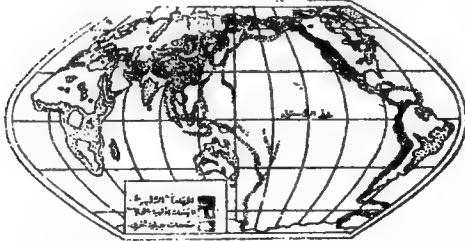
وتتخذ نتائج الالتواءات الهرسينية في قارة أوربا إلى الجنوب من نطاق الالتواءات الكاليدونية على شكل هضبات صدعية متوسطة المنسوب فوق سطح البحر الحالي. ومن بين أظهر هذه الهضبات كورنول Cornwall في جنوب غرب إنجلترا. والقسم الغربي من هضبة المزيثا في شبه جزيرة أيبيريا، وهضاب فرنسا الوسطى إلى الغرب من ليون (أو فرن Auvergne - كليرمون فرا Clermont Ferrand - سفن Cavernes). ومرتفعات بريتاني في غرب فرنسا، ومجموعة الهضاب الصدعية الوسطى في أوربا وخاصة هضاب الفوج Vosges والغابة السوداء، وبوهيميا، والسوديت، وتاترا Tatra في تشيكوسلوفاكيا، وهضاب مكيفكا Makeyevka المتوسطة الارتفاع إلى الشمال من بحر آزوف Azov في الاتحاد السوفيتي. أما في قارة آسيا فتتمثل أهم الطبقات والمرتفعات الهرسينية في المناطق المرتفعة من الصين الداخلية وخاصة مرتفعات ألتاي Altai حول حوض زرنجاريا، ومرتفعات سايان Sayan Mts، ومرتفعات خنجان Khingan ويابلونوف Yablonovy حول حوض شامو Shamo (جوبي Gobi) ومرتفعات ستانفوي Stanovoy وتعد أجزاء واسعة من مرتفعات شرق أستراليا في قارة أستراليا وبعض أجزاء مرتفعات الألبلاش الشمالية تابعة للحركات الهرسينية. أما في أمريكا الجنوبية فتظهر نتائج هذه الحركة في مرتفعات بتاجونيا،

وفي أفريقية قد تعد بداية نشأة مرتفعات دراكنزبرج تابعة لهذه المرحلة الا أن هذه المرتفعات الأخيرة بلغت أعظم مراحل نموها خلال الزمن الثالث.

#### د. الالتواءات الألبية Alpine Orogenesis:

تعتبر أحدث الحركات التكتونية التي تعرضت لها قشرة الأرض خلال الزمن الجيولوجي الطويل، وامتدت دوراتها من نهاية الزمن الثاني، وبلغت أعظم قوة لها خلال عصر الميوسين في الزمن الجيولوجي الثالث. وعلى ذلك يقسم الجيولوجيون المراحل الثانوية التي أدت إلى تكون السلاسل الألبية إلى مراحل ما قبل الزمن الثالث، وكانت الحركة الالتوائية في بدايتها وتميزت بضعفها العام، ثم مرحلة عصر الميوسين الذي عظمت خلاله درجة نمو هذه السلاسل الالتوائية، ثم نهاية مرحلة نمو السلاسل الالتوائية بنهاية عصر الميوسين.

ومن دراسة التوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية الألبية في العالم يتضح أنها تتكون على شكل أقواس عظمى حول الكتل القارية القديمة، وتظهر في اتجاهين مختلفين (شكل 6) ففي العالم القديم تمتد هذه السلاسل الالتوائية في اتجاه عام من الغرب إلى الشرق أما في الأمريكتين فتتمتد من الشمال إلى الجنوب وقد حاول فجنر Wegener ودالي Daly، وتايلور Taylor تفسير اختلاف اتجاه الامتداد العام للسلاسل الالتوائية وذلك عن طريق زحزحة الكتل القارية القديمة من



شكل (6) السلاسل الجبلية الالتوائية واختلاف اتجاهاتها في قارات العالم.

مناطق القطبين نحو خط الاستواء ونتج عن ذلك تكوين السلاسل الجبلية العرضية (الغربية الشرقية) في حين نتج عن زحزحة الأمريكتين غربا تكوين سلاسل الكورديلرا - الانديز الطولية (الشمالية - الجنوبية)

وقسم الاستاذ ولدريدج Wooldridge السلاسل الجبلية الالية في القارة الاوروبية إلى مجموعتين هما:

أ. المجموعة الالية الرئيسية، وتشمل من الغرب إلى الشرق مرتفعات أطلس الساحلية في شمال غرب أفريقية وسيرايفادا على الجانب الجنوبي لحوض الاندلس في أسبانيا، ومرتفعات البرانس في أسبانيا، ثم ينتمي إلى هذه المجموعة مرتفعات الالب العظيمى (الغربية والوسطى والشرقية) وتمتد السلاسل غربا لتضم أقواس مرتفعات ترانسلفانيا والكربات، وإلى الجنوب من مرتفعات ترانسلفانيا تمتد أقواس مرتفعات البلقان وردوب التي تظهر مكملاتها في شمال تركيا وتعرف باسم مرتفعات بنطس أو (كانيك) Canik.

ب. المجموعة الالية الادرياتيّة: وتمتد جنوب المجموعة السابقة وتشمل من الغرب إلى الشرق قوس مرتفعات أطلس التل أو الصحراء، ومرتفعات الابنين وكلايريا في شبه جزيرة ايطاليا، وسلاسل مرتفعات كابلا Kapela وفالييت Velebit والالب الدينارية Dinara Planina في يوغوسلافيا وامتدادها في البانيا، ومرتفعات بندس Pindus في شبه جزيرة المورة في اليونان، وتمتد السلاسل الالية شرقا لتشمل مرتفعات طوروس Taurus في جنوب تركيا.

أما في قارة آسيا فتلتقي مرتفعات بنطس ومرتفعات طوروس في عقدة أرمنيا. ومن هذه العقدة الجيولوجية العظمى تنفرع سلاسل جبلية عظمى أهمها سلاسل مرتفعات القوقاز فيما بين البحر الاسود وبحر قزوين، ومرتفعات البرزوهندكوس ومرتفعات زاجورس التي تنحصر بينها هضبة ايران، وتلتقي هذه السلاسل مع سلاسل سليمان في عقدة جيولوجية عظمى هي عقدة بامير. ومن هذه المنطقة الأخيرة تنفرع أقواس جبلية عظمى تتمثل في كون لون، وقره قورم والميملايا وتحصر بينها هضبة التبت. ومرتفعات تيان شان وتحصر بينها حوض

تكلاما كان. ويلاحظ أن مرتفعات شرق التبت لا تتجه شرقا حتى تقابلها كتلة الصين الصلبة بل تتجه السلاسل على شكل أقواس نحو الجنوب وتعرف باسم سلاسل مالبور، وسلاسل أراكانيوما، ثم باسم سلاسل دوانا في شبه جزيرة الملايو.

أما في أمريكا الشمالية، فتمتد أقواس المرتفعات الآلية من الجنوب إلى الشمال في المناطق التي يحتلها من قبل حوض البحر الجيولوجي القديم في غرب القارة. وتعرف الجبال في غرب المكسيك باسم سيراماديرا الغربية، ويمتد في شرق المكسيك سيراماديرا الشرقية ويحصران بينهما هضبة المكسيك وفي الولايات المتحدة الأمريكية يعظم اتساع السلاسل الجبلية وتشغل القسم الغربي من أراضي البلاد، وتعرف على الجانب الغربي المطل على المحيط الهادى باسم السلسلة الساحلية ومرتفعات سيرانيفاذا، وامتدادها المعروفة باسم مرتفعات كامسكيدا، ومرتفعات وارنر، أما في الشرق فتظهر أقواس مرتفعات بيج هورن، ولارامى، وبارك، والروكى. وقد تأثرت هذه المرتفعات بصدوع عظمى، كما غطت المصهورات اللافة مناطق واسعة من هضبة كولومبيا، وتحصر هذه السلاسل فيما بينها أحواض صحراوية مرتفعة المنسوب منها الحوض العظيم، وحوض نيفادا، وحوض واساتش، وحوض كلورادو، وحوض أريزونا وموجاف.

وفي القسم الغربي من كندا وبشبه جزيرة السكا تظهر مكملات هذه النطاقات الآلية العظمى وتعرف هنا باسم السلسلة الساحلية كذلك ومرتفعات سانت الياص المطلة على خليج ياكوتات. وفي الشرق تعرف باسم مرتفعات ماكينزى، ومرتفعات كامير وأومينسا، وتحصر هذه المرتفعات فيما بينها هضبا مرتفعة أهمها هضبة يوكن وهضبة أوجليفى.

أما في أمريكا الجنوبية فتمتد المرتفعات الآلية العظمى في غرب القارة في المنطقة التي كان يشغلها حوض بحر الأنديز القديم. وتظهر هذه المرتفعات على شكل ثلاث شعب ثانوية تعرف باسم مرتفعات ماجدالينا Magdalena في كولومبيا، وسانتا مارتا Santa Marta على حدود كولومبيا - فنزويلا، ومرتفعات سانتا دى ماريدا St. De Merida في غرب فنزويلا، وتلتقى هذه الشعب الثلاث

جنوباً شمال منطقة بركان كوتوباكسي Cotopaxi في أكوادور، ثم تتجه الجبال على شكل قوس عظيم يشرف على السهول الساحلية الغربية الضيقة للقارة ويعظم اتساع نطاق الجبال في بوليفيا ويعظم ارتفاع القمم الجبلية جنوب بحيرة تيتيكاكا Titicaca حيث يبلغ بعضها نحو 21.490 قدم فوق مستوى سطح البحر الحالي. ثم تمتد سلاسل المرتفعات بعد ذلك في اتجاه شمالي جنوبي إلى أن تتلاشى في أقصى جنوب القارة بمزيرة النار (تيرادنفيجو) Tierra del Fuego.

### نشأة السلاسل الجبلية.

حاولت الدراسات الجيولوجية تفسير نشأة السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية والعوامل المختلفة التي تؤدي إلى ثني وطى القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية. وعينت تلك الدراسات بعدة نقاط هامة من بينها:

أ. معرفة العوامل التي تؤدي إلى ثني وطى أجزاء القشرة الأرضية وهل هذه العوامل ثابتة أم تتغير من زمن جيولوجي إلى آخر.

ب. تفسير المراحل الثانوية المتعاقبة لكل دورة التوائية كبرى ينجم عنها تكوين سلاسل جبلية عظمى، ومدى الارتباط بين هذه المراحل الثانوية في التكوينات الصخرية لقارات العالم.

ج. تتابع حدوث الدورات التكتونية المكونة للجبال Orogenic Cycies خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة، ثم أسباب تباين التوزيع الجغرافي للنطاقات الالتوائية فوق سطح الأرض.

وأصبح من البديهي أن السلاسل الجبلية فوق سطح قشرة الأرض ترتبط بعوامل داخلية تكتونية تحدث في باطن الأرض وتؤثر في تشكيل قشرة الأرض. على ذلك فإنه يلزم على الباحث في هذا المجال أن يحرص أفكاره ونظرياته في تحديد العوامل الباطنية التي تؤدي إلى عدم استقرار مواد باطن الأرض وأثر ذلك في نشأة الحركات التكتونية. وعرف الباحثون في البداية كذلك بأن باطن الأرض أعظم سخونة من مواد القشرة الخارجية للأرض، فإنه لم يتعرض للبرودة الكاملة

بعد. ومن ثم فإن الحرارة الباطنية Internal Heat قد تكون هي العامل المسؤول عن الاضطرابات التي تحدث في باطن الأرض.

وعلى ذلك اعتقد الباحثون في البداية بأن مواد باطن الأرض الساخنة في حالة شبه سائلة أو لزجة وتعرض للبرودة التدريجية، وينجم عن ذلك انكماش مواد باطن الأرض وتقلصها، وتؤثر هذه العمليات في تجمع قشرة الأرض الخارجية التي تنجذب إلى أسفل بفعل قوة الجاذبية الأرضية أو بمعنى آخر تكوين الجبال في الثنيات المكدبة. وعرفت هذه النظرية القديمة باسم نظرية تقلص الأرض وانكماشها Contraction Hypothesis، ويعترض هذه النظرية ما يلي:

أ. تبعاً لانكماش باطن الأرض مع استمرار البرودة التدريجية لموادها فكان لا بد وأن تتشكل قشرة الأرض بحركات ثني وطي عامة تشغل جميع أجزاء سطح الأرض، ولكن يتضح من دراسة التوزيع الجغرافي للطبقات الالتوائية بأن كلا منها له نطاق خاص محدد.

ب. إذا كانت موجات قشرة الأرض وتجمعها تعزى إلى البرودة التدريجية المستمرة لمواد باطن الأرض وانكماشها، فكان ينبغي أن يكون الزمن الجيولوجي الفاصل بين الحركات الالتوائية الأحدث عمراً أطول بكثير منه في الحركات الالتوائية الأقدم عمراً، ولكن نجد في الواقع أن طول الزمن الجيولوجي الفاصل بين الحركات الالتوائية يختلف من دورة إلى أخرى. فيبلغ طول الزمن الجيولوجي الفاصل بين الحركة الكارنية والكاليدونية نحو 300 مليون سنة، وفيما بين الكاليدونية والهرسينية نحو 125 مليون سنة، وفيما بين الكاليدونية والهرسينية نحو 125 مليون سنة، وفيما بين الهرسينية والالبية نحو 225 مليون سنة. هذا ويلاحظ كذلك أن الحركة الالبية الأخيرة كانت أعظم قوة وأثراً عن الحركات التكتونية القديمة السابقة لها، في حين كان ينبغي وفقاً لنظرية الانكماش التدريجي لباطن الأرض بفعل البرودة التدريجية المستمرة أن تكون الحركات التكتونية القديمة هي الأقوى والأعظم أثراً.

وهكذا أصبح لا يمكن قبول النظرية التقليدية القديمة لانكماش باطن الأرض علميا، كما أصبحت هذه النظرية مرفوضة علميا تماما بعد أن أكتشف اللورد رايليه Lord Rayleigh عام 1906 تأثير العناصر المشعة Radioactive Elements في توليد حرارة عظمى كامنة في الصخر. ومن بين مئات العينات الصخرية التي جمعت من قارات العالم المختلة وفحصها اللورد رايليه تبين أنه لم تخل عينة واحدة من تلك العناصر المشعة المولدة للحرارة. ومن ثم استنتج العلماء بأنه في الوقت الذي تتعرض فيه مواد باطن الأرض للبرودة التدريجية ولعمليات التقلص والانكماش، فإنه في بعض أجزائها الأخرى يتولد فيها حرارة عظمى نتيجة لتفاعل العناصر المشعة. وأدت هذه المعلومات الجديدة إلى تعديل نظرية جديدة تعرف باسم نظرية التيارات الصاعدة أو نظرية آرثر هولمز الذي تبناها منذ عام 1931.

#### نظرية التيارات الصاعدة Convection Theory:

يقصد بالتيارات الصاعدة التيارات الحرارية الناتجة عن تفاعل العناصر المشعة مثل الثوريوم والرايديدون والبوتاسيوم والصوديوم، ويعظم تأثير هذه التيارات في مواد الأرض عندما تكون في حالة لزجة وشبه سائلة عنها في الصخور المتجمدة الباردة. وأكدت نتائج الدراسات الجيولوجية بأن مواد الأرض صلبة أو متجمدة حتى عمق 300 كم من السطح، ولكن فيما بعد هذا العمق تصبح المواد لزجة ومرنة Plastic وشبه منصهرة بفعل الحرارة الباطنية.

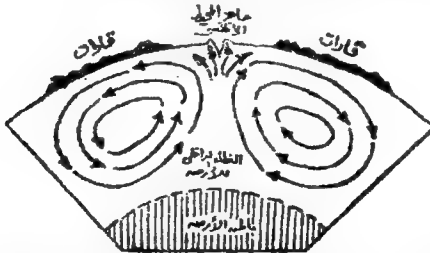
وقد عمل آرثر هولمز في جميع كتاباته على تحقيق نقطتين هامتين هما:

1. تجمع اليابس في المناطق القطبية وتكوين قارات قطبية Polar Continents، في حين يتكون في المناطق الاستوائية بحار عظمى Equatorial Oceans ويعزى السبب في ذلك إلى طبيعة حركة التيارات الصاعدة في المناطق القطبية والمهابطة في المناطق الاستوائية.

2. يعظم تكون المواد المشعة في صخور الجرانيت، كما تعمل التيارات الحرارية أسفل التكوينات الجرانيتية وصخور السيل العظيمة السمك على رفع هذه التكوينات

الأخيرة إلى أعلى وتكوين القارات، في حين يقل تأثير المواد المشعة في صخور السيلما المحيطية. وعلى ذلك فتتكون أسفل المحيطات تيارات حرارية مساعدة أقل قوة من تلك أسفل القارات، وتتجمع التيارات الصاعدة في القسم الأوسط من المحيطات، ونتيجة لذلك تتكون الحواجز المحيطية ثم تنحرف التيارات في اتجاهين متضادين من أواسط المحيطات وتصبح تيارات هابطة على جانبي المحيطات (بعد برودتها) ويساعد ذلك على تكوين الأخاديد المحيطية (شكل 7).

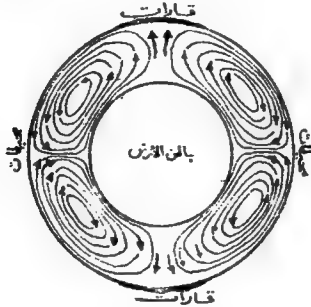
وقد عمل على تحقيق دراسات هولمز كثير من الكتاب. فاهتم الباحث بيكريس Pekeris بدراسة اتجاهات وتحرك التيارات الحرارية الباطنية، وتنوع قوتها، وأثر ذلك في التوزيع الجغرافي لليابس والماء من ناحية وتكوين السلاسل الجبلية من ناحية أخرى. ويلاحظ بأن نتائج دراسات كل من هولمز، وبيكريس تتفق مع دراسات دالي Daly في نظريته عن انزلاق الأرض Sliding of the continents، ومع دراسات فجنر Wegener في نظريته عن زحزحة القارات، حيث اتفق الجميع على أن اليابس كان متجمعا في المناطق القطبية وشغلت البحار الجيولوجية القديمة المناطق الاستوائية.



شكل (7) عظم تكوين التيارات الصاعدة تحت القارات وتكوين الحواجز المحيطية في أواسط المحيطات بفعل تيارات صاعدة أقل قوة. وتتميز أعالي تلك الحواجز بتشكيلها بمناطق حوضية عميقة.



ودرس بكريس طبيعة تحرك التيارات الصاعدة ورجح بأنها تتحرك بمعدل بوصة واحدة في العام. ولكن تبعا لعظم عمر كوكب الأرض. نجحت هذه التيارات في أن يكون لها نظام خاص يتضح من شكل (8) وتتغلغل هذه التيارات الصاعدة في مواد باطن الأرض كمثل التيارات الحرارية في طبقات الغلاف الجوى.



شكل (8) تحرك التيارات الصاعدة في باطن الأرض واثرها في تكوين القارات القطبية والمحيطات الاستوائية حسب دراسات بيكريس.

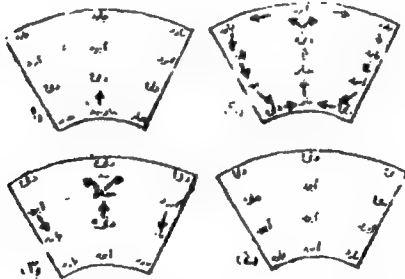
واوضح بيكريس كذلك بأن هذه التيارات الصاعدة يمكن لها أن ترفع قشرة الأرض الخارجية إلى أعلى وينجم عن ذلك تكوين القارات والسلاسل والجواجز المحيطية، في حين تؤدي في مناطق أخرى إلى تكوين البحار والاحواض عند هبوط التيارات في أسفل.

آراء الاستاذ جريجيز Griggs والتيارات الصاعدة:

يعزي الفضل في انتشار نظرية التيارات الصاعدة إلى الابحاث التي قام بها الاستاذ جريجيز D.T.Griggs. 1939 الامريكي الذي أخذ على عاتقه تفسير آراء الاستاذ هولمز البريطاني مؤسس نظرية التيارات الصاعدة.

أوضح جريميز بأن مواد باطن الأرض ليست مرنة تماماً كما تختلف درجة مرونتها من جزء إلى آخر. وعلى ذلك فلا تتحرك التيارات الصاعدة بحرية تامة في هذه المواد، كما تختلف سرعتها وقوتها من جزء إلى آخر. ورجح جريميز بأن التيارات الصاعدة تبدأ ضعيفة Slowly، ثم تزداد حركتها Speed up بالتدريج إلى أن تصل إلى أعظم قوة لها Maximum، ثم تتعرض للبرودة بعد ذلك، وتضعف حركتها Slow down إلى أن تتلاشى نهائياً Stops، ولكن قد تعيد التيارات الصاعدة دورتها من جديد أو تعمل على بداية دورة جديدة قبل أن تسم الدورة الأولى مراحلها وذلك تبعاً لنشاط العناصر المشعة. وميز جريميز أربع مراحل رئيسة للدورة الكاملة من دورات التيارات الصاعدة وتتلخص فيما يلي:

أ. المرحلة الأولى: تمثل بداية تكوين التيارات الصاعدة البطيئة الحركة Slowly accelerating currents. وتستغرق هذه العملية نحو 135 مليون سنة (شكل 9) وتوجه هنا التيارات من أسفل إلى أعلى أي من المناطق الساخنة إلى الأخرى الباردة.



شكل (9) مراحل دورة كاملة للتيارات الصاعدة

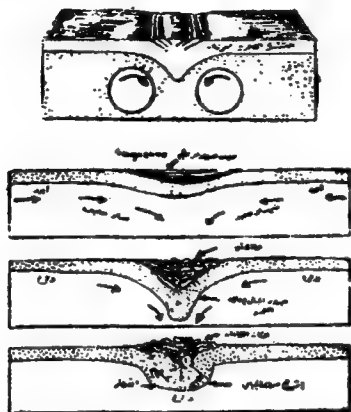
حسب دراسات الاستاذ جريميز Griggs.

ب. المرحلة الثانية: تمثل ازدياد سرعة التيارات الحرارية Rabid Currents وفيها تعظم حركة التيارات في القسم الاوسط من مواد باطن الأرض وتندفع إلى أعلى من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة، وعندها تتجه التيارات شرقا وغربا وتهبط إلى أسفل لتحل محل التيارات التي تصعد إلى أعلى وتستغرق هذه العملية من 5-10 مليون سنة (شكل 9-2).

ج. المرحلة الثالثة: تمثل انخفاض سرعة التيارات الحرارية Decelerating Current، وفيها تتميز تلك التيارات بضعفها النسبي وقلة القوى الحرارية الدافعة لها. ومن ثم لا تصعد التيارات إلى أعلى نحو المناطق الباردة تماما كما كانت في المرحلة السابقة، بل لا تستطيع ان تتم دورتها العليا وتبدأ عمليات هبوطها إلى أسفل قبل أن تصل إلى المناطق الباردة العلوية. وتقتصر حركة التيارات الصاعدة في القسم الاوسط فقط من مواد باطن الأرض التي تعرضت للتفاعل الحراري الراديومي، أما الأطراف الهامشية فتكون شبه باردة وتستغرق هذه العملية نحو 25 مليون سنة. (شكل 9-3)

د. المرحلة الرابعة: وتمثل مرحلة التوقف التام لحركة التيارات الصاعدة Quiescence، وفيها تبرد مواد باطن الأرض، ويتلاشى فيها تماما تأثير تفاعل العناصر المشعة، وتصبح المناطق السفلية من تلك المادة التي تعرضت لهذه العمليات أبرد من المناطق العلوية. وتستغرق هذه العملية زمنا طويلا يقدر بنحو 500 مليون سنة. ولكن ينبغي أن نضع في الحسبان بأنه من الصعب أن تستقر مواد باطن الأرض بهذا الشكل خلال ذلك الزمن الجيولوجي الطويل دون أن تتجدد تفاعلات العناصر المشعة في مواد باطن الأرض من جديد (شكل 10).

وقد أوضح جريميز نظريته عند تفسير قشرة الأرض الخارجية وتكوين جذور المرتفعات الجبلية في أشكال تصويرية توضيحية (شكل 10) وفي هذه الأشكال يرتبط نمو السلاسل الجبلية على سطح الأرض بمراحل دورات التيارات الصاعدة.



شكل (10) أثر التيارات الصاعدة في تكوين السلاسل الجبلية (الاشكال الثلاثة السفلية) أما المنظور العلوي فيوضح التيارات الصاعدة التي حدثت في مواد زيت محرك الاسطوانات والجليسرين في المعمل

كما حققت نتائج هذه النظرية بدراسة تجريبية عملية. فعند تسخين مواد جليسرين (ترمز إلى مواد باطن الأرض) يتكون فيها عند البداية موجات التيارات الصاعدة، وعند صعود التيارات إلى أعلى تؤثر على تشكيل المواد العلوية التي عملها جريز من زيت محرك الاسطوانات المختلط مع الاتربة والرمال (ترمز إلى مواد قشرة الأرض) وتكون جذور المرتفعات كمثال تلك التي تحدث تماما في قشرة الأرض على الطبيعة. (المنظور المجسم العلوي من شكل 10) ولتحقيق نفس النتائج السابقة بصورة تجريبية عملية استخدم الاستاذ بول Bull A. J. المطاط وعرضه لعمليات التسخين ومن ثم تكون فوق سطحه تجمعات محدبة ومقعرة بفعل تيارات حرارية صاعدة تكونت داخل مادة المطاط.

وقد استخدم كل من الاستاذ هيس Hess, H.H عام 1946، والاستاذ ديتز Dietz, R.s عام 1961، نظرية التيارات الصاعدة في تفسير تكوين الحواجز المحيطية العظمى Submarine Ridges في أواسط المحيطات بفعل التيارات الصاعدة وتكوين الخنادق المحيطية العظمى Deep Sea Trenches على جوانب المحيطات بتأثير التيارات الهابطة.





المجلد الخامس

## التركيب الأولية في الصخور الرسوبية





## الفصل الخامس

### التركيب الأولية في الصخور الرسوبية

#### الصخور الرسوبية:

تعزى نشأة الصخور الرسوبية إلى ثلاث عمليات رئيسية هي:

1. التجوية. 2. النقل. 3. الترسيب.

ولعوامل التجوية أثر كبير في تفتت الصخور إلى حبيباتها المعدنية المكونة لها، وتعرف هذه العملية بالتفتت Disintegration وقد تتحلل بعض المعادن غير الثابتة كيميائياً خلال عملية التفتت ويتسج عنها معادن أخرى، وتعرف هذه العملية بالتحلل الكيميائي فمثلاً يتحلل معدن الفلسبار البوتاسى طبقاً للمعادلة الآتية:



(أرثوكليز فلسبار) (ا يد) 4 لوس 2 س 2ا + بو 2ك 3ا + 4 س 2ا (كاولين)

وبذلك تكون نواتج عمليات التجوية إما مواد ذاتية في الماء تنقل على هيئة محاليل أو مواد عالقة غير ذاتية تنقل على هيئة فتات صخرى له أحجام مختلفة بواسطة المياه الجارية أو الرياح أو الثلجات إلى الأحواض الترسيبية في بيئة قارية أو بحرية أو متوسطة مثل الدلتا ومصبات الأنهار، أما المواد الذاتية فتنتقلها المياه إلى البحيرات والبحار والمحيطات حيث تترسب بفعل العوامل الكيميائية أو نشاط الكائنات الحية وبذلك تتكون الرواسب الملحية والرواسب العضوية، أما الفتات الصخرى فإنه يتماسك مكوناً بعض الصخور الرسوبية مثل الكونجلمرات والبريشيا والصخور الرملية والطين الصفحي والصلصال.

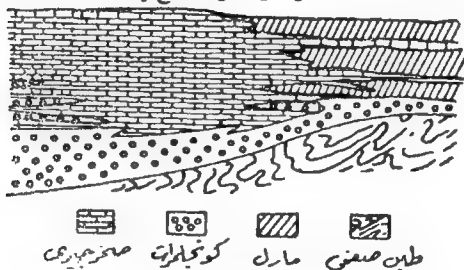
ومن المشاهد عادة في الصخور الرسوبية وجود تتابع معين في ترسيب الصخور، فعلى سبيل المثال قد يتكون جزء من قطاع معين ذى سمك كبير من

الصلصال بالإضافة إلى بعض الرواسب الأخرى كالصخور الرملية والجيرية على شكل متداخلات رقيقة نادرة. ومن الناحية الأخرى فإن جزءاً آخر من نفس القطاع قد يتكون أساساً من الصخور الجيرية أو من تبادل منظم من الصخور الجيرية والصلصالية، ومثل هذا التتابع في الصخور ينشأ عنه ما يعرف بتكاوين الصخور الرسوبية، أى أن التكوين الصخري عبارة عن تتابع معين من صخور مختلفة تتواجد مختلطة فيما بينها بنسب معينة تكاد تكون منتظمة، وهذا المفهوم للتكوين الصخري يعتمد أساساً على الشكل الخارجى لسطح الأرض، أما من الناحية التكوينية فإن مفهوم التكوين الصخري يعتمد على الظروف التركيبية التي تكونت فيها الرواسب. وسميزات التكاوين المختلفة تعكس لدرجة كبيرة نوع الصخور الأساسية المكونة لها ومن أمثلة ذلك تكاوين جيرية أو تكاوين من الطين الصفحي.

وإثناء عملية ترسيب المواد المفككة التي تنقلها المياه الجارية إلى البحيرات والبحار والمحيطات ترسب المواد الخشنة قريباً من الشاطئ ويتبع عن هذه المواد بعد تماسكها بالمواد اللاصقة صخور الكونجلمرات والبريشيا. وبعيداً عن الشاطئ تتكون الصخور الرملية وعلى مسافات أكثر بعداً من الشاطئ يترسب الغرين والصلصال مكوناً بعد تماسكه الصخور الطينية والصلصالية. وهذا التدرج في حجم حبيبات الصخور الرسوبية لا يعنى وجود حدود فاصلة بينها، بل هناك انتقال تدريجي بين تكوين هذه الصخور وإذا كانت الظروف الطبيعية والكيميائية للترسيب منتظمة لفترة طويلة، فإن طبيعة الصخر الرسوبي لا تتغير في الاتجاه الرأسى، ولكنها تختلف فقط في الاتجاه الأفقى، وهذا نادراً ما يحدث إذ إن عمليات الترسيب غالباً ما تعريبها تغيرات عديدة مثل ارتفاع وهبوط قاع الخوض الترسيبي أو غزو البحر وتقهره أو تغيير في اتجاهات التيارات النهرية والأمواج البحرية أو عدم انتظام مصدر الفتات الصخري.

ويتبع عن ذلك اختلاف الصخور الرسوبية في نوعها في كل من الاتجاهين الرأسى والأفقى. ففي منطقة معينة إذا انتقلنا من نقطة إلى أخرى فإننا نلاحظ أن

مجموعة من الصخور التي ترجع إلى عصر جيولوجي واحد تختلف في التركيب والسمك، وكذلك أيضاً لمجد أنه في المناطق المختلفة التي لها نفس العمر الجيولوجي تتباين صخورها في النوع والسمك. ويعتمد اختلاف الصخور في الاتجاه الأفقي تبعاً للظروف الطبيعية والكيميائية والتكتونية التي كانت سائدة وقت الترسيب. ففي بعض المناطق تظهر التغيرات بصورة تدرجية ويمكن ملاحظاتها فقط على مساحات شاسعة قد تمتد لمئات الكيلومترات، بينما في حالات أخرى تكون التغيرات فجائية وتظهر على مدى مسافات قصيرة. ويوضح الشكل (1) مثالا للتغيرات الأفقية في السحنة الصخرية وفي سمك الرواسب. وفي المرحلة الانتقالية للسحنة الصخرية يمكن مشاهدة اختفاء بعض الطبقات التي لها تركيب معين وظهور طبقات أخرى ذات تركيب مختلف، ونتيجة لذلك فإن طبقات معينة تتداخل على شكل الأصابع في طبقات أخرى.



(شكل 1)

رسم توضيحي يبين اختلاف سمك الطبقات والسحنة الصخرية في رواسب من العصر الجوراسي الأعلى في شبه جزيرة القرم بالاتحاد السوفيتي واثناء تكون الصخور الرسوبية، سواء من مواد مفتتة عالقة أو من الحبال، وغماسكها وتلاصقها وتعرضها للتغيرات المختلفة بعد ترسيبها فينشأ بها تراكيب أولية عديدة نذكر منها ما يأتي:

(Stratification)	1- التتابع
(Cross – Bedding)	2- التتابع المتقاطع
(Unconformity)	3- عدم التوافق
(Ripple Marks)	4- علامات النيم
(Wave Marks)	5- علامات الموج
(Rill Marks)	6- علامات الغدير
(Mud Gracks)	7- التشققات الطينية
(Contemproaneous deformation of Sediments)	8- التشوه المعاصر أو المتزامن للصخور
(Conctetions)	9- الدرنات الصخرية
(Septaria)	10- الدرنات الشعاعية
(Geodes)	11- الجيود
(Stylolites)	12- الزوائد الصخرية
(Cone – in – cone Structure)	13- تركيب البنية المخروطية المتداخلة
(Rain and hail impressions)	14- انطباعات المطر وانطباعات البرد
(Bubble Impressions)	15- انطباعات الفقاعات
(Animal Tracks)	16- آثار الحيوانات

### 1. التتابع

التتابع أو ترتيب الصخور في طبقات كما في شكل (2) من أهم الصفات المميزة للصخور الرسوبية وينشأ التتابع نتيجة الاختلافات في اللون والنسيج أو البنية وحجم الحبيبات المكونة للصخر الرسوبي وكذلك في تركيبه المعدني والكيميائي. وقد يعزى التتابع أيضا إلى التوقف المؤقت لعملية الترسيب، حيث تتعرض الرواسب التي تكونت لتغيرات معينة مثل اختلاف درجة التماسك والتلاحم، وإعادة التبلور والإحلال المتبادل أو الترسيب من محاليل جارية خلال



وهناك نوعان من التطابق هما:

(أ) التطابق المباشر أو الأولي وهو الذي ينشأ مباشرة عند ترسيب الطبقات منذ بداية تكونها، ويحتل تواجدته بالرواسب التي تتكون في بيئة عميقة أو ضحلة ذات مياه هادئة أو راكدة.

(ب) التطابق غير المباشر أو الثانوي وهو الذي ينشأ إذا تفتت الرواسب، تحت ظروف جيولوجية معينة، إلى مواد عالقة في المساء ثم ترسب مرة ثانية، ويوجد هذا النوع من التطابق بالرواسب التي تتكون في بيئة شاطئية ذات مياه مضطربة تحت تأثير التيارات والأمواج وعوامل المد والجزر، ومعظم الطبقات لا يوجد بها تطابق غير مباشر أو ثانوي، ويعزى ذلك إلى استمرار ترسيب نوع واحد من المواد الرسوبية لفترة طويلة جداً، ولكنه قد يرجع أيضاً إلى تفتت الرواسب بفعل الكائنات الحية ثم إعادة الترسيب مرة أخرى وقد قسم العالم بانيه التطابق، طبقاً لسلك الرقائق المكونة للطبقات، إلى أربعة أنواع هي كالآتي:

1. تطابق تفسخي (Fissile) ويتكون من رقائق أقل من 2 مم في السمك.
2. تطابق صفحي (Shaly) ويتكون من رقائق يتفاوت سمكها من 2 مم إلى 10 مم.
3. تطابق لوحى (Flaggy) ويتراوح سمك الرقيقة المكونة للطبقة من 10 مم إلى 100 مم.
4. تطابق كتلى (Massive) وهو النوع الشائع في الصخور الرسوبية وفيه يزيد سمك الرقائق للطبقات عن 100 مم.

**درجة ميل التطابق وإبعاد الوحدات الرسوبية:**

يكون مستوى التطابق عادة موازياً لسطح الترسيب، ولكن في حالة التتابع الطويل للترسيب يحتمل وجود انحراف كبير عن السطوح الموازية لمستويات التطابق عند كل من القاع والقمة. وليس من الضروري أن تكون السطوح الأولية للترسيب أفقية، ولكنها قد تكون متعرجة وتشتمل على نتوءات ذات

أبعاد مختلفة. كذلك ليس من الضروري أيضاً أن تكون السطوح الناتجة بعد الترسيب موازية للسطوح التي توجد تحتها مباشرة، إذ إن الأجزاء المنخفضة لسطوح الترسيب تستقبل رواسب أكبر سمكاً من الأجزاء المرتفعة، وينشأ عن ذلك أن مستويات التطابق المتتابعة للطبقات اللاحقة تكون أقل ميلاً من الطبقات السابقة، ولكن هناك كثيراً من ظروف الترسيب التي قد تؤدي إلى نشأة سطوح أكثر تعرجاً من السطوح السابقة، وقد تكون هذه السطوح في بعض المناطق شديدة الانحدار، فمثلاً قد تؤدي عوامل التعرية إلى عدم انتظام الترسيب وبذلك قد تنشأ سطوح غير منتظمة للدرجة كبيرة.

ولقد أجريت بعض الدراسات لمعرفة الحد الأقصى لانحدار مستويات الترسيب، وذكر العالم ثوليت أن أكبر المحدار يسمح بالترسيب هو 41°، ولكن الدراسات الحديثة أثبتت أن الرواسب خشنة الحبيبات وكذلك تلك التي تتكون من حبيبات غير منتظمة تترسب تحت سطح الماء على سطوح أشد انحداراً من تلك التي تترسب عليها الرواسب دقيقة الحبيبات أو تلك التي تتكون من حبيبات مستديرة. وقد وجد أن 43° هو الحد الأقصى للانحدار تحت سطح الماء الذي يسمح بترسيب الرمال الخشنة ذات الشكل غير المنتظم، بينما في حالة الرمال الناعمة جداً فإن أقصى انحدار لترسيبها هو 33°، أما في حالة الرمال متوسطة الحجم فإن أقصى انحدار لترسيبها هو 38° إذا كانت غير منتظمة، 35° إذا كانت مستديرة. ولا يتجمع الصلصال على منحدرات ذات ميل أكبر من 30° إلا إذا كان متسرباً على سطح صلب يساعد على التصاق الصلصال. وبصفة عامة فلن الطبقات الصلصالية تكون ذات سمك أكبر إذا ترسبت على سطوح ذات انحدار صغير، بينما يكون سمكها أقل إذا ترسبت على سطوح ذات انحدار كبير نسبياً.

وكثير من مواضع الترسيب ذات انحدار كبير، فعلى سبيل المثال يكون قاع الشعب المرجانية في اتجاه البحر ذات انحدار شديد، كما أن بعض تكاوين الشعب المرجانية القديمة لها انحدار يزيد عن 40° وكثير من الفوالق والمنحدرات البركانية تحت سطح البحار ذات انحدار أكبر من 40° أما المنحدرات ذات الميل المتوسط

(حوالي 20 °) فهي واسعة الانتشار وقد ينشأ عن الترسب سطوح شديدة الانحدار، وخاصة بالقرب من مصبات الأنهار التي تصب في بحار أو بحيرات هادئة ذات مياه راكدة نسبياً، وهناك أمثلة عديدة لتلك المنحدرات التي تنشأ بهذه الطريقة.

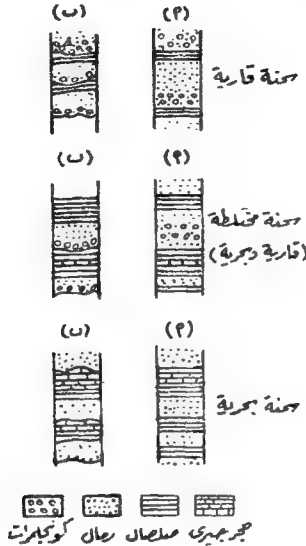
وسطوح الترسب لمصبات كثيرة من الأنهار التي تصب في البحار تكون عادة ذات انحدار بسيط ويتفاوت الانحدار من درجة واحدة، مثل نهر الميسيسي بأمريكا، إلى نصف درجة مثل نهر الراين في أوروبا، ويعزى ذلك إلى تأثير الأمواج والتيارات المائية التي تساعد على توزيع وانتشار الرواسب. وحالة الرواسب النهرية فإن ميل مستويات التطابق قد يكون كبيراً وغير منتظم لدرجة عالية نتيجة لعوامل النحر والترسب السائدة بمجرى النهر. وكثير من الرواسب ذات ميل أولى كبير، أما الطبقات التي يتراوح ميلها من 5° إلى 10° فهي واسعة الانتشار ويوجد أكبر ميل أولى للترسب في حالة الرواسب الجيرية المسماة بالترافرتين حيث يصل ميل منحدرات الترسب لأكثر من 90°، ولكن هذا النوع من الرواسب يكون متماسكاً منذ نشأته وهناك اعتقاد بأن غالبية الرواسب التي لها ميل أصلى أكبر من 40° قد ترسبت في حالة صلبة وتماسكت مع سطح الترسب.

وهناك نوع من الطبقات المركبة التي ينشأ عنها ما يسمى بالتتابع التكرارى (Rhythmic Sequence) ويتميز بتكرار مجموعة معينة من الصخور على فترات منتظمة ويتراوح سمك كل تتابع من مترين إلى ثلاثة أمتار. وقد يتكون مثل هذا التتابع، من أسفل إلى أعلى، من صخور رملية خشنة ثم صخور جيرية صلصالي يليها صخور جيرية نقية، ويشاهد التبادل المنتظم في الطبقات التي تحتوى على الفحم حيث تتكرر الرواسب القارية من أسفل إلى أعلى بالترتيب الآتي: صخور رملية - مواد صلصالية - فحم - رواسب بحرية - (تتكون من الصلصال والصخور الجيرية والرمال) وتكون الحدود الفاصلة بين هذه الصخور عادة واضحة، كما أن الانتقال من صخر إلى آخر يكون تدريجياً. والتبادلات المنتظمة بين الصخور قد تساعد أيضاً لتحديد سطوحها العلوية والسفلية، والتي لها أهمية خاصة في حالة تغيير الوضع الأصلي للطبقات. ففي معظم الأحوال توجد



الرواسب الخشنة في قاع التتابع بينما يتميز السطح العلوى للتتابع بالرواسب دقيقة الحبيبات. وبالإضافة إلى ذلك فإن نوع الصخور الداخلة في تتابع معين يلقي بعض الضوء على ظروف أو بيئة الترسيب ويتضح ذلك من الشكل (3)، والتغير في نوع الصخر الرسوبي يشار إليه عادة بالتغير في سحنة الصخر (Changes of lithofacies).

ويتراوح سمك الوحدات الرسوبية من ملليمتر واحد إلى عدة أمتار ويصفة عامة فإنه يتفاوت من 5 سم إلى 50 سم. ولا توجد علاقة بين سمك الرواسب وسرعة الترسيب أو الزمن، فإن طبقة رقيقة من أى نوع من الرواسب قد تترسب في زمن يعادل ترسيب طبقة سمكها عدة أمتار من نفس النوع أو نوع آخر من الرواسب في زمن أو مكان آخر. وبالإضافة إلى العوامل التي تؤدي إلى زيادة أو نقص كمية الرواسب، فإن أبعاد الوحدات الرسوبية تتغير باختلاف بيئة الترسيب ونوع ومقدار المواد الرسوبية. وحالة الرواسب الخشنة توجد اختلافات كبيرة في سمكها وإمتدادها وتوزيعها، ويعتمد ذلك على عدة عوامل أهمها مقدار الحمل والظروف التي قد ينتج عنها هبوط كبير في مقدار الرواسب، أما في حالة الرواسب الدقيقة فيكون توزيعها عادة على مساحات شاسعة نسبياً كما أن سمكها يكاد يكون منتظماً للدرجة كبيرة.



(شكل 3)

أمثلة لرواسب متبادلة منتظمة من بيئات مختلفة

وتختلف رواسب المرواح الطمية (Alluvial Fans) والتي توجد على شكل مخروط ورواسب سهول الفيضانات ودالات الأنهار في سمكها وتوزيعها ومساحتها اختلافا كبيرا على مدى مسافات صغيرة جدا، وتزداد هذه الاختلافات عندما تتغير بيئة الترسيب من ظروف الدلتا إلى سهول فيضانية أو إلى مجارى للأنهار أو مرواح طمية، ويظهر هذا التغير بوضوح في تكاوين المياه العذبة مثل منطقة فورت نينون بولاية مونتانا في أمريكا الشمالية وهي عبارة عن

مجموعة عدسية الشكل من الصلصال والطين والرمل والحصى والفحم، وتصل مساحة بعض الوحدات الرسوبية إلى عدة أمتار مربعة بينما قد تغطي بعض الوحدات الرسوبية الأخرى عدة أميال مربعة. والوحدات الرسوبية التي تتكون في بيئة بحرية ضحلة تختلف اختلافاً كبيراً في أبعادها، فمثلاً قد تمتد وحدة رسوبية لعدة كيلومترات على امتداد الساحل، بينما تمتد على نفس الساحل وحدة رسوبية أخرى لعدة أمتار فقط ومثل هذه الاختلافات توجد أيضاً في تكاوين الشعب المرجانية إلا إذا كانت جميع الرواسب جيرية. وتختلف أبعاد الوحدات الرسوبية باختلاف المسافة من الشاطئ، وعمق المياه في المنطقة الضحلة وبصفة عامة فإن المساحة التي تغطيها هذه الأنواع من الرواسب تكون عادة أكبر من الرواسب التي تتكون تحت ظروف الترسيب في القارات فيما عدا الرواسب البحرية العميقة التي يتراوح عمقها من 200 إلى 2000 متر ولقد بحث الجيولوجيون حتى نهاية القرن الماضي تكاوين المياه الضحلة للبحار القريبة من القارات، وأثبتت الدراسة وجود اختلافات كبيرة في إبعاد الوحدات الرسوبية. فعلى سبيل المثال يوجد في جزيرة الترينيداد تكاوين (ويليامز فيل) الصلصالية التي يتغير سمكها من 12 إلى 60 متراً وتمتد ثمانية كيلومترات تقريباً، بينما تختلف تكاوين المارل في السمك من 15 إلى 450 متراً على مدى حوالي أربعة كيلومترات، أما تكاوين الصلصال الخضراء فيتفاوت سمكها من 15 إلى 195 متراً. وبنفس الطريقة فإن صخور العصر الثلاثي على ساحل الباسفيكي توجد به وحدات رسوبية ذات اختلافات عظيمة في السمك. وهناك اعتقاد بصفة عامة بأن الرواسب القارية والرواسب البحرية التي تتكون في بيئة ضحلة تختلف اختلافاً واضحاً في صفاتها وسمكها، كما أن معظم الوحدات الرسوبية عبارة عن عدسات ذات أبعاد مختلفة.

#### أصل التطابق:

يكون أصل التطابق أحياناً واضحاً، بينما في حالات أخرى يكون أصله غامضاً أو غير مفهوم ومن المدهش حقاً أننا لا نعرف إلا القليل عن أهم ظاهرة

تميز الصخور الرسوبية. ومما لا شك فيه أن عوامل النقل بواسطة الجبر تؤدي إلى التطابق، ويعزى ذلك لمقدرة المياه على حمل الأحجام المختلفة من الفتات الصخرى ثم تصنيف هذه المواد لدرجة ما تبعاً لاختلاف سرعات ترسيبها ومن الأسباب الهامة التي قد تؤدي إلى التطابق اختلاف الظروف المناخية والأحوال الجوية والتباين في مقدرة التيارات المائية على حمل فتات الصخور تحت الظروف الجوية العادية وتغير منسوب سطح البحر، ونمو الكائنات الحية، وترسيب المواد العالقة في الماء. ويعزى التطابق في أي منطقة إلى واحد أو أكثر من العوامل سالفة الذكر. وفيما يلي سنذكر بعض الأسباب التي ينشأ عنها التطابق في الرواسب.

#### 1. التغيرات الجوية والموسمية:

تسبب التغيرات الجوية والموسمية في ظهور بعض أنواع التطابق فتقوم الأمطار الغزيرة المصحوبة بفيضانات عالية بنقل كميات هائلة من المواد المفتتة التي ترسب فيما بعد على مساحات شاسعة كمواد مفككة ذات سمك كبير، أما في الأوقات بين مواسم الفيضانات فتتكون رواسب أقل حجماً وسمكاً، وربما ذات تركيب معدني مختلف. ويكون التطابق الناتج عن التغيرات الجوية واضحاً في حالة الرواسب القارية، ولكنه قد يوجد أيضاً في بعض الرواسب البحرية حيث تجرف وتنقل الرياح والأمواج الشديدة بعض الرواسب من المنطقة الشاطئية أو المياه الضحلة إلى بيئة المياه العميقة، وبذلك ترسب في المياه العميقة مواد خشنة لا تتكون تحت الظروف العادية في تلك البيئة وترجع معظم التغيرات الجوية إلى اختلاف الفصول إلى مدار السنة. ففي بعض المناطق تتميز بعض فصول السنة بحو غزير الأمطار وعواصف شديدة، بينما تتميز الفصول الأخرى بأمطار قليلة ورياح خفيفة مما يؤثر على كمية ونوع الفتات الصخرى المنقول إلى مواضع الترسيب.

ويعزى التطابق في الحجر الجيري عادة إلى وجود بعض رقائق رقيقة من الصلصال بين الطبقات، ويظهر ذلك بوضوح في الأحجار الجيرية في كثير من المناطق فعلى سبيل المثال الأحجار الجيرية التابعة لعصر الميوسين في مصر

وكذلك الأحجار الجيرية التابعة للعصرين السيلوري الأردوفيسي في وادي المسيسيبي الأعلى والتي تكاد تكون شرائط الصلصال فيها ذات سمك صغير جداً من الصلصال التي تظهر في الصخور الجيرية بكثير من المناطق قد تكونت إما بفعل العواصف الشديدة التي أثرت على رواسب القاع فأصبحت المواد الصلصالية عالقة في الماء أو نتيجة للأمطار الغزيرة على الأرض والتي نشأ عنها فيضانات كبيرة جرفت ونقلت معها كميات عظيمة من المواد الطميّة بعيداً عن الشاطئ ثم ترسبت تلك المواد على هيئة رقائق رقيقة تفصل بين طبقات الصخور الجيرية.

ومن أفضل الأمثلة للترسيب الموسمي تلك التي توجد بالبحيرات التي تصب فيها مياه الثلجات بعد انصهار الجليدي. ففي فصل الصيف يؤدي الانصهار السريع للجليد أن تحمل المياه كميات كبيرة من الرواسب المفككة ذات الأحجام المختلفة، وبذلك ترسب في قاع البحيرات مواد ذات حجم وسمك معين أما في الفصول الباردة فإن المواد المنقولة يكون حجمها أقل وبالتالي تتكون رواسب ذات الحبيبات دقيقة وسمك أقل، وبهذه الطريقة تتدرج الرواسب الصيفية خشنة الحبيبات إلى رواسب شتوية ذات حبيبات دقيقة ونتيجة لتعرض الرواسب الشتوية للتآكسد نظراً لبقائها لفترة طويلة عالقة في الماء فإن تلك الرواسب تكون عادة ذات لون قاتم، وذلك بعكس الرواسب الصيفية التي تكون عادة فاتحة اللون. وعندما يبدأ الجليد في الذوبان في فصل الربيع تتكون مرة أخرى الرواسب الصيفية خشنة الحبيبات وبذلك ينشأ حد فاصل بين الرواسب الخشنة والرواسب الدقيقة. ورغم أن التركيب المعدني للرواسب الصيفية والشتوية يكاد يكون متشابهاً إلى حد كبير، غير أن الرواسب الشتوية تتميز عادة بأنها تحتوي على أكسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ ) ومواد صلصالية. وتسمى الرواسب التي تكونت في عام واحد خلال فصل الصيف والشتاء بالرواسب الحولية (Varve)، ويتفاوت سمكها من عدة ملليمترات إلى أكثر من 30 سنتيمتراً. وقد تكون الرواسب الحولية ذات تركيب صفائحي ويعزى ذلك لعدة أسباب أهمها كالآتي:

- أ- اختلاف قدرة المياه على حمل الرواسب.
- ب- اختلاف معدل انصهار الجليد تبعاً للتباين في درجة الحرارة بين الليل والنهار.
- ج- اختلاف الصفات المميزة للرواسب وكذلك مقدارها.
- د- اختلاف درجات الحرارة عند انصهار الجليد في مياه البحيرات ومن المعروف أن المياه الناتجة عن ذوبان الثلجات يجب أن تنصب في بحيرات للمياه العذبة لكي تتكون الرواسب الحولية والبقايا العضوية المختلطة مع الطين تكون رواسب سوداء تسمى سابروبل (Sapropel) وهي تترسب خلال أحد فصول السنة، بينما تترسب المواد الأخرى أثناء بقية الفصول، وبذلك تتكون رواسب حولية تحتوي على السابروبل، ومن أمثلة هذه الرواسب تلك التي توجد في بحيرات ماكاى بالقرب من أوتاوه في كندا، وتتكون من رقائق متبادلة، يصل سمكها حوالى نصف ملمتر، من حجر جيري فاتح اللون، وطبقات رقيقة من مواد عضوية ذات لون أحمر قاتم وخالية تماماً من كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري).

## 2. التغيرات المناخية:

من الواضح أن التغيرات المناخية تؤدي إلى نشأة بعض أنواع التطابق غير أن هذه التغيرات تحدث تدريجياً وتمتد على فترة طويلة من الزمن.

## 3. التغيرات في شدة التيارات:

ترجع معظم الاختلافات في شدة التيارات إلى العوامل الجوية، مثل تأثير الرياح وعوامل المد والجزر، مما يؤدي إلى نشأة بعض أنواع التطابق، ويظهر ذلك بوضوح في بعض الرواسب التي تتكون على بعض شواطئ البحار المعرضة لتأثير التيارات والمد والجزر.

## 4. الارتفاع النسبي لمستوى البحر:

يعتقد أن معظم أنواع التطابق تعزى إلى الارتفاع النسبي لمستوى سطح البحر. وتتكون قيعان البحار عند مستوى الترسيب، وهو السطح الذي لا

ترسب فوقه مواد أخرى إلا عندما تتوافر ظروف موافقة لنشأة مستوى أعلى للترسيب، ويحدث ذلك نتيجة للارتفاع النسبي لمستوى سطح البحر أو هبوط مستوى قاع الترسيب. وبهذه الطريقة تتكون طبقة جديدة أو مجموعة من الطبقات التي تنفصل عن الوحدات الرسوبية القديمة عند السطح السابق للترسيب والذي تكونت فوقه الرواسب الجديدة. ويمثل سطح الانفصال فترة عدم الترسيب التي قد تكون قصيرة جداً، وفي هذه الحالة تسمى عدم التوافق المحلي أو داياستم (Diastem) أو قد تكون طويلة جداً وحيث تسمى عدم التوافق المتظم أو المتوازي (Disconformity) وتتميز تكاوين الحجر الجيري المرجاني بتطابق غير متظم ويرجع ذلك جزئياً لارتفاع مستوى سطح البحر. ويتوقف البناء الراسي للشعب المرجانية عند مستوى سطح البحر، فإذا ارتفع مستوى البحر تدريجياً، ولكن ليس بسرعة كبيرة تمنع الكائنات من الاستمرار في نموها، فقد تنمو الشعب رأسياً مرة ثانية.

#### 5. نشاط الكائنات العضوية:

إن قيعان المنخفضات المملوءة بالمياه تكون عادة مرتعاً خصباً لنشاط الكائنات الحية وبالتالي لتراكم الرواسب العضوية وهناك عدة عوامل يتوقف عليها ازدهار بعض الكائنات الحية وازدهار أنواع أخرى، ومن ضمن هذه العوامل نذكر على سبيل المثال:

أ. التغيرات في درجات الحرارة.

ب. كمية المواد العالقة في الماء والتي يتوقف عليها درجة تعكير الماء.

ج. العمق.

د. طبيعة القاع.

هـ. دورات سريان المياه.

و. درجة الملوحة ومعامل تركيز أيون الإيدروجين.

ز. الضوء.

وينشأ التطابق نتيجة الاختلاف في نوعية المواد العضوية التي ترسب تحت ظروف الترسيب المختلفة، ومن أمثلة ذلك وجود بعض الطبقات التي توجد بها بقايا نوع معين من الحيوانات بكميات كبيرة بينما يتواجد في الطبقة التي تعلوها بقايا نوع آخر من الحيوانات.

#### 6. ترسيب المواد العالقة:

ترسب المواد العالقة طبقاً لحجم وشكل حبيباتها وثقلها النوعي، فالحيبيات الأكبر حجماً وأكثر استدارة وأعلى كثافة ترسب أولاً، بينما الحبيبات الأصغر حجماً وأقل استدارة وكثافة فإنها ترسب فيما بعد فإذا تمت عملية الترسيب وفقاً للظروف سالفة الذكر ينشأ التطابق في الرواسب.

ويتميز التطابق في هذه الحالة بالتدرج الذي يسمى بالتطابق المتدرج فيترسب في قاع الطبقة حبيبات خشنة كبيرة الحجم، بينما يتكون السطح العلوي من حبيبات ناعمة دقيقة جداً وقد يكون ذلك مصحوباً بتغير في لون الطبقات. وقد وجد أن المواد الغروية العالقة في ماء مقطر ترتب نفسها على شكل رقائق رفيعة هي في الحالة العالقة، وبذلك ينشأ التطابق نتيجة للترسيب على هذه الصورة، ولكن من المستبعد حدوث مثل هذا النوع من التطابق في المياه الطبيعية، ولا يعزى لهذا السبب على الإطلاق أي نوع من التطابق في الصخور بالعمود الجيولوجي الموضح بالجدول (2).



## جدول رقم 2

العمود الجيولوجي والمقياس الزمني للصخور.

أحقاب	عصور	العمر التقريبى	منذ بداية العصر مقدراً بملايين السنين
حقب الحياة الحديثة	الرابعى		حديث
			بلايستوسين
	الثلاثى		بليوسين
			ميوسين
			أولييجوسين
حقب الحياة المتوسطة			أيوسين
			كريتاس
			جوراسى
			ترياسى
			برمى
حقب الحياة القديمة			كربونى
			ديفونى
			سيلورى
			أوردوفيسى
			كمبرى
حقب ما قبل الكمبرى			أقدم العصور التابعة لهذا العصر
			تعرف باسم الأركى
			على الأقل 750 أكثر من 4000
صل الأرض			

حقب ما قبل الكمبرى

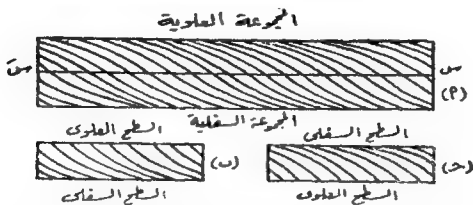
أصل الأرض

وبإضافة الأملاح الألكتروليتية إلى المواد الغروية العالقة فإنها تترسب على هيئة طبقات دقيقة جداً ويتتج عن ذلك ما يعرف بالرقائق. وفي تجربة حلقات

(ليزيجانج) يغطى لوح زجاجى بطبقة من الجلاتين مذاب فيها بيكرومات البوتاسيوم، فإذا أضفنا نقطة من محلول نترات الفضة على اللوح نلاحظ تكون حلقات مركزية حول النقطة، وتكون الحلقات متقاربة من بعضها بالقرب من المركز، لكنها متباعدة بعيداً عن المركز وبإضافة محلول من كربونات الأمونيوم تدريجياً إلى مادة صلصالية معلقة في ماء يحتوى على كمية متوسطة من سيليكات الصوديوم، فإن كربونات الأمونيوم تنتشر في المحلول إلى أسفل وينشأ عن ذلك ترسيب حامض السيليسيك الشفاف، ويحتمل أن بعض التراكييب الرقائقية التي توجد في المواد الطينية دقيقة الحبيبات يرجع أصلها إلى مثل هذه الخاصة.

## 2. التتطابق المتقاطع.

التتطابق المتقاطع أو التتطابق الكاذب تركيب مميز للرواسب الرملية، وينشأ عن ترتيب الرقائق في مستويات متقاطعة مع سطوح التتطابق، وفي المرحلة الأولية للتتطابق المتقاطع تكون الأجزاء العلوية من الرقائق موازية لمستويات التتطابق العلوية، ولكن أثناء النمو المستمر للرقائق الجديدة فإن الجزء العلوي يتلاشى. وفي حالة الرمال الخشنة جداً يحتمل أن تكون الرقائق ذات ميل كبير على السطحين العلوي والسفلي لمستويات التتطابق. ويسمى الجزء السفلي المماس لمستوى التتطابق بالمجموعة السفلية (Bottom set)، أما الجزء المائل فيعرف بالمجموعة الأمامية (Fore set) بينما يسمى الجزء العلوى في حالة وجوده بالمجموعة العلوية (Top set) كما في شكل (4) وتراوح زوايا ميل الرقائق من الحد الأقصى وهو 43° إلى زوايا صغيرة جداً، وغالباً تكون أقل من 30°. وتختلف زوايا ميل الرقائق باختلاف كمية وحجم حبيبات الرمال وسرعة الترسيب، فتزيد في حالة ترسيب كميات كبيرة من الرمال الخشنة، وقد تقل درجة الميل بعد الترسيب نتيجة لعملية التماسك.



شكل (4) قطاع يوضح التطابق المتقاطع واستخدامه في التعرف على التابع الأصلي للطبقات

أ. التركيب الأصلي الكامل للتطابق المتقاطع.

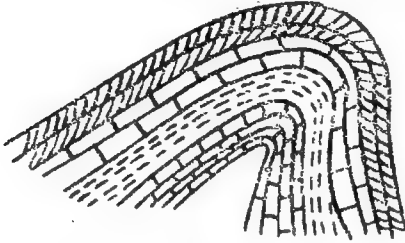
ب. تآكل الجزء العلوي إلى السطح من - من ويظهر التطابق المتقاطع في الوضع الأصلي للطبقة

ج. شكل التطابق المتقاطع في الطبقة المقلوبة.

ويتناسب طول المجموعة العلوية تناسباً عكسياً مع كمية الرمال، وتتناسب طردياً مع شدة التيارات، وقد يصل طول المجموعة العلوية إلى 30 متراً، أو أكثر، ولكنها تبلغ في المتوسط ثلاثة أمتار كحد أقصى. ويوجد التطابق المتقاطع بشكل واضح في تكاوين الحجر الرملي النوبي الذي يغطي مساحات شاسعة في الصحارى الشرقية والغربية بالقطر المصري، ويتفاوت عمر هذه التكاوين من العصر الكربوني إلى العصر الكريتاسي (الطباشيري).

والتطابق المتقاطع له أهمية كبيرة من الناحية التركيبية، حيث تكون الرفائق منحنيات مقعرة إلى أعلى، ونادر جداً ما تتواجد المجموعة العلوية وبذلك تصبح الرفائق ذات ميل كبير على السطح العلوي للطبقة. وفيما عدا الرمال الخشنة جداً فإن المجموعة السفلية تكون مماسة لقاع مستوى التطابق للطبقة، ونتيجة لذلك فإنه من السهل التعرف على الطبقات التي لا زالت في وضعها الصحيح وتلك التي تمعدت أو انقلبت كما في شكل (4، 5) ويوجد التطابق المتقاطع في

جميع البيئات التي ترسب فيها الرمال، ويتوقف وجود هذه التراكييب الأولية المميزة للرواسب الرملية على كمية الرمال المترسبة وعلى شدة التيارات.



(شكل 5)

العلاقة بين التطابق المتقاطع وطية محدبة (أنكلين).

وفي حالة الرواسب النهرية يكون للتطابق المتقاطع مركبة مائلة في اتجاه المنصب، فيما عدا حالة الأنهار التي تتعرض لعوامل المد والجزر والتي قد يوجد بها تطابق متقاطع في اتجاه المنبع وقد تؤدي الدوامات إلى نشأة تطابق متقاطع على نطاق محلي في اتجاه المنبع أيضاً. ويتعرض كثير من مجارى الأنهار إلى الالتواء، مما يؤدي إلى نشأة تطابق متقاطع على نطاق كبير في اتجاه المنبع. والتطابق المتقاطع الذي يتواجد بالمراوح الطمية والمخروطية والدلتا تكون ميولها متشعبة أو متفرعة من مجارى الأنهار. أما في حالة رواسب البحيرات والبحار فإن التطابق المتقاطع الذي يوجد في مجموع متتابعة من البحيرات والبحار، فإن التطابق المتقاطع الذي يوجد في مجموعة متتابعة من الطبقات يكون مائلاً في اتجاهات متعددة، ويعزى ذلك لاختلاف اتجاه حركة التيارات. وفي حالة الكتلبات الرملية فإن التطابق المتقاطع يتبع النظام العام للكتيب، أي ترسب الرمال على أبعاد مختلفة في المنخفضات والمرتفعات ولكنها تكون في وضع مائل في نفس الاتجاه العام كما تكون الرفائق موازية للاتجاه المقابل للرياح في الكتلبات الرملية.

وينشأ التطابق المتقاطع بفعل المياه والرياح ويتميز كل نوع بالخصائص سالفة الذكر، غير أنه توجد صفات مشتركة أهمها ما يأتي:

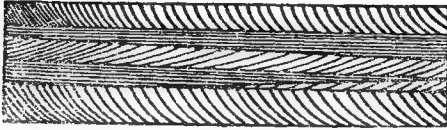
1. تكون الرقائق مماسة لسطوح الترسيب عند القاع وتكون مائلة عند القمة.
2. تكون الرقائق مقعرة نحو السطح العلوي.
3. تكون ميول المجموعات الأمامية متشابهة إلى حد كبير، وقد تكون هذه المجموعات طويلة.

وهناك اختلافات في شكل الوحدات التي يوجد بها تطابق متقاطع بفعل المياه أو الرياح. ففي حالة التطابق المتقاطع بفعل المياه تكون المستويات التي تحيط بالرقائق متوازية تقريباً كما في شكل (6) أما في حالة التطابق المتقاطع بفعل الرياح، فإن المستويات المائلة تكون ذات ميل كبير على مستويات الترسيب، وتكون الرقائق على شكل خابور، إذا نظرنا إليها في اتجاهين كما في شكل (7) وهناك ثلاثة أنواع من التطابق المتقاطع هي:

#### 1. التطابق المتقاطع في الحواجز الرملية:

تتحرك الحواجز الرملية على القاع بكميات عظيمة على شكل تلال أو هضاب، وتكون جوانبها في المقدمة ذات المحدار شديد، وقد يبلغ ارتفاعها فوق القاع ما بين ثلاثة ستميرات وثلاثة أمتار أو أكثر. وأحياناً يصل طول المجموعة الأمامية لأكثر من ثلاثين متراً. وميول المجموعة الأمامية ذات اتجاهات مختلفة، ولكن يوجد عادة اتجاه عام ناحية الاتجاه السفلى للتيارات. والسطح العلوي يكاد يكون أفقياً، أما القاعدة فيكون سطحها عادة غير منتظم. ويتكون كل حاجز رملي من طبقة تكون فيها ميول المجموعات الأمامية في نفس الاتجاه العام للميل، أما الطبقات التالية فإن ميول مجموعاتها الأمامية إما أن تكون في نفس الاتجاه أو في اتجاهات أخرى كما في شكل (6) ويعتمد ذلك على ظروف الترسيب التي قد تكون في مياه راكدة أو مياه متحركة في مجرى النهر.

## السطح العلوى للطبقات



(شكل 6) التتطابق المتقاطع الناشئ بفعل التيارات المائية.

## السطح العلوى للطبقات



(شكل 7) التتطابق المتقاطع الناشئ بفعل الهواء

### 2. التتطابق المتقاطع بفعل علامات النيم:

تنشأ علامات النيم من الامواج والتيارات المائية، وقد يصحبها أنواع مختلفة من التتطابق المتقاطع. وعلامات النيم الناتجة عن التيارات يكون التتطابق فيها في اتجاه مضاد لحركة التيارات، وقد يصل أقصى طول للمجموعات الأمامية إلى حوالي 15 ستمتراً وفي حالة الرواسب النهرية يكون الميل للتتطابق المتقاطع في اتجاه المصب، بينما في حالة رواسب المياه الراكدة فإن الميول تكون متعددة الاتجاهات. والتتطابق المتقاطع الناشئ بفعل الأمواج لا يشاهد عادة في الرواسب غير المتصلدة، وهي توجد عادة على الأجزاء الخارجية للشعب الرملية.

### 3. التتطابق المتقاطع في الكتيبات الرملية:

يكون التتطابق المتقاطع للكتيبات الرملية مائلا في اتجاهات تقدم الكتيب الرملى. ويتوقف ميل الرقائق على طبيعة وكمية الرمال وحجم حبيباتها وسرعة الترسيب، وقد ينشأ عن المدى الشاسع لاتجاه الرياح في نطاق ضيق اختلاف كبير

في اتجاه ميل المجموعات الأمامية للتطابق المتقاطع، حيث أن الجوانب التي في عكس اتجاه الكتيب الرملى تكون عادة مقعرة أو هلالية الشكل في اتجاه تقدم الكتيب. ولقد أشار العلماء بيدنيل وشوتون وريتشى بأن الاتجاه العام للميل في التطابق المتقاطع يجب أن يكون هو الاتجاه السائد للرياح. والمجموعة المتقدمة تكون عادة طويلة، وكما سبق الذكر فإن الوحدات ذات التطابق المتقاطع يكون شكلها كالحابور عند رؤيتها في اتجاهين وبصفة عامة فإن التطابق المتقاطع الناشئ بالرياح يتميز بعدم انتظامه الشديد كما في شكل (7) ويعزى ذلك لاختلاف اتجاه الرياح وتعدد عمليات التآكل والترسيب.

### 3. عدم التوافق:

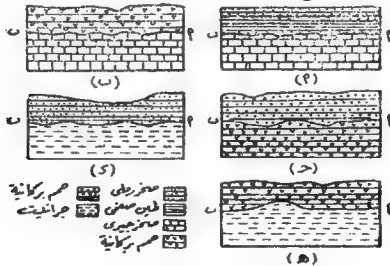
عدم التوافق أحد الظواهر التركيبية التي يرجع أصلها لعوامل التعرية والترسيب، بالإضافة إلى العمليات التكتونية، وقد يشابه عدم التوافق في مظهره العام مع بعض أنواع الفوالق، وتشترك جميع أنواع الصخور من رسوبية وجوفية وبركانية ومتحولة في ظاهرة عدم التوافق ومن أهم فوائد عدم التوافق استخدامه في تحديد تاريخ الحركات البنائية للجبال والحركات البنائية للمرتفعات والمنخفضات. ويعتبر عدم التوافق ذو أهمية خاصة من الناحية العلمية في علوم الأرض وخاصة في الجيولوجيا التاريخية والاستراتيجرافى والترسيب، أما من الناحية الاقتصادية فإن سطوح عدم التوافق تكون تراكيب مناسبة للتجمعات البترولية والغاز الطبيعي وتركيز بعض الرواسب المعدنية الهامة.

وينشأ سطح عدم التوافق في معظم الأحيان نتيجة لوجود سطح للتآكل، أو نتيجة توقف مؤقت لعمليات الترسيب، ويفصل هذا السطح بين الطبقات القديمة والأحدث عمراً، ولكى ينشأ عدم التوافق تجب أن تتم ثلاث مراحل هي كالاتي:

- أ. تكون الصخور القديمة تحت ظروف وبيئة ترسيبية مناسبة.
- ب. ارتفاع التكاوين القديمة عن مستوى قاع الترسيب مما يسبب توقفاً مؤقتاً للترسيب وتآكلها بعوامل التعرية.

ج. ترسيب الطبقات الأحدث عمراً على السطح المتآكل للطبقات القديمة.

وفي شكل (8) يحدد عدم التوافق بالسطح (أ ب)، فمثلاً في حالة الشكل (8-أ) تكون الصخور التي فوق وتحت سطح عدم التوافق صخوراً رسوبية إذ بعد ترسيب الحجر الجيري السفلى ارتفعت المنطقة وتعرضت لعوامل التعرية ثم ترسب بعد ذلك الحجر الرملي العلوى والطين الصفحى أما في شكل (8-ب) فإن الصخور التي تحت سطح عدم التوافق هي صخور بركانية وفي هذه الحالة ترسب الحجر الجيري أولاً ثم ارتفعت المنطقة وتعرضت لعوامل التعرية ثم غطيت بالطفوح البركانية الناتجة من ثوران البراكين وفي شكل (8-ج) يتضح أنه بعد تدفق الصخور البركانية السفلية حدث تآكل، سواء ارتفعت المنطقة أو لم ترتفع، ثم تدفقت ثانياً الصخور البركانية العلوية، أما الشكل (8-د) والشكل (8-هـ) فهى توضح عدم التوافق في حالة صخور جوفية تداخلت بالصخور المحيطة ثم تآكلت بعوامل التعرية، وبعد ذلك تكونت على السطح المتآكل صخور رسوبية أو بركانية.



(شكل 8) سطوح عدم التوافق (أ ب).

- (أ) صخور رسوبية  
(ب) صخور بركانية ورسوبية.  
(ج) صخور بركانية  
(د) صخور رسوبية وجوفية.  
(هـ) صخور بركانية وجوفية.



وتختلف تضاريس سطح عدم التوافق اختلافا كبيرا، وفي بعض المناطق تكون الصخور القديمة قد تآكلت لدرجة كبيرة وتكاد تكون مستوية، بينما في مناطق أخرى قد يمثل سطح عدم التوافق مرحلة ناضجة في دورة التآكل قبل ترسيب الصخور العلوية ويتراوح ارتفاع سطح عدم التوافق من مئات إلى آلاف الأمتار.

وهناك نوعان متميزان من عدم التوافق، أولهما عدم التوافق الإقليمي والذي يغطي مساحات شاسعة، وثانيهما عدم التوافق المحلي ويتميز بأنه على نطاق محدود. وفي وعدم التوافق الإقليمي تتداخل الطبقات بطريقة مباشرة أو غير مباشرة على السطح الحالي للأرض، فإذا حددنا أو رسمنا جميع سطوح عدم التوافق بالعمود الجيولوجي لوجدنا أن سطح الأرض يمتد جانبيا على أقدم الصخور المعروفة كما أنه يتفرع بصفة تكاد تكون دائمة، وهناك صعوبات جمة لتقدير المدى الزمني لعدم التوافق وخاصة في حالة عدم التوافق المحلي، وذلك بالاعتماد فقط على المظهر العام لسطح عدم التوافق.

### أنواع عدم التوافق:

هناك أنواع عديدة من عدم التوافق ويمكن التمييز بينها بالاعتماد على نوع الصخور وتاريخ الحركات الأرضية وأهم أنواع عدم التوافق هي:

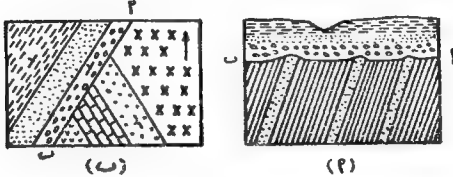
- |                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| (Angular unconformity) | (أ) عدم التوافق الزاوي أو غير المنتظم |
| (Disconformity)        | (ب) عدم التوافق المتوازي أو المنتظم   |
| (Diastem)              | (ج) عدم التوافق المحلي (داياستم)      |
| (Non - conformity)     | (د) اللاتوافق                         |

### (1) عدم التوافق الزاوي:

يوضح شكل (9-1) هذا النوع الشائع من عدم التوافق، وفيه تكون الطبقات التي فوق وتحت سطح عدم التوافق غير متوازية، ويوضح شكل (9-2) كيفية ظهور هذا النوع من عدم التوافق في الخريطة الجيولوجية، ويمكن

تفسير أسباب وجود عدم التوافق الموضح في شكل (9-1) إلى المراحل أو الخطوات الآتية:

1. ترسيب الحجر الرملي والطين الصفحي في وضع أفقي تقريبا.



(شكل 9)

عدم توافق زاوى

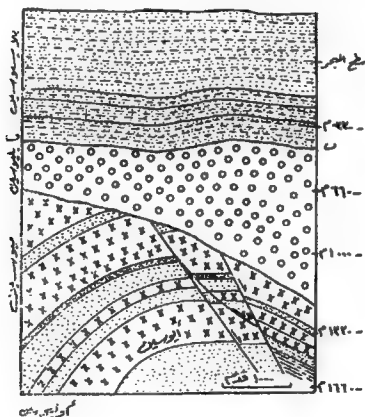
2. تأثير المنطقة بالحركة التكتونية مما أدى إلى ميل الطبقات ميلا كبيرا يصل مقداره لحوالي 70°.

3. كان من نتيجة الحركات الأرضية العنيفة ارتفاع المنطقة وتعرضها لعوامل التعرية بواسطة مياه الأنهار أو البحار ثم أصبح سطح الصخور ممثلا كما في الشكل بالسطح (أ-ب).

4. تقدم البحر وغطى المنطقة التي تآكلت ثم ترسبت الطبقات الجديدة التي تتكون من الكونجلمرات والحجر الرملي والطين الصفحي. وبالرغم من أن الصخور التي توجد فوق وتحت سطح عدم التوافق هي صخور رسوبية، إلا أن إحداها أو كليهما قد تتكون من صخور بركانية.

وتعتمد الدقة التي يمكن بواسطتها تحديد الزمن الذي تمت فيه الحركات الأرضية على عمر الصخور التي تتواجد على جانبي سطح عدم التوافق. فإذا كانت الصخور تحت السطح (أ-ب) تنتمي إلى العصر البرمي الأعلى، وكانت الصخور فوق السطح (أ-ب) تنتمي إلى العصر الترياسي الأسفل، فإن تشوه الصخور يرجع إلى أي زمن في الفترة المحصورة بين العصر البرمي المتأخر والعصر

الترياسي المبكر. ومن الأمثلة الواضحة لعدم التوافق الزاوي التي تعتمد على نتائج حفر الآبار تلك المثلة في القطاع المستعرض لحقل بترول كيمريك بكاليفورنيا. ويتضح من شكل (10) أن سطح عدم التوافق (A-A') يفصل بين صخور عصرى الميوسين والبليوسين. وقد تعرضت الصخور الميوسينية لعمليات الطي والتصدع قبل تعرضها لعامل التآكل والتعرية الذي نتج عنه سطح عدم التوافق (A-A')، ثم ترسبت بعد ذلك الصخور البليوسينية. أما سطح عدم التوافق (ب-ب') فهو يفصل بين صخور البليوسين والبلايستوسين.



شكل (10)

عدم التوافق على أساس نتائج الحفر في حقل بترول كيمريك بكاليفورنيا

#### (ب) عدم التوافق المتوازي:

في هذا النوع من عدم التوافق تكون التكاوي، التي تغطي عادة مساحات شاسعة، على جانبي سطح عدم التوافق متوازية كما أنها تمثل فترة زمنية كبيرة، وتمثل الأشكال (8-أ، ب، ج) هذا النوع من عدم التوافق المتوازي.

#### (ج) عدم التوافق المحلي (داياستم):

وهي تشبه لدرجى كبيرة عدم التوافق المتوازي، غير أنها على نطاق محلى أو محدود، كما أنها تمثل فترة زمنية قصيرة. ففي حالة ترسيب الرواسب القارية مثل الحصى والرمال والصلصال، فإن الأنهار قد تغير مجراها إلى الأمام أو إلى الخلف عبر حوض الترسيب، فعلى سبيل المثال أثناء الفيضانات ينحدر البحر مجراه عشرات الأقدام في العرض وعدة أقدام في العمق، ولكن عندما تقل شدة الفيضانات بعد أيام أو شهور أو سنوات فإن المجرى يمتلئ بالرواسب مرة ثانية، وبذلك ينشأ سطح لعدم التوافق المحلى الذي يمثل فترة زمنية قصيرة وعلى نطاق محلى أو محدود جداً ويسمى هذا النوع من عدم التوافق (داياستم).

#### (د) اللاتوافق:

أو التباين وهو نوع من عدم التوافق الذي تكون فيه الصخور القديمة ذات أصل نارى أو متحول بينما الطبقات الأحدث عمراً ذات أصل رسوبى.

### 4. علامات النيم:

تنشأ علامات النيم على سطوح المواد قليلة التماسك بفعل التيارات المائية أو الهوائية. وتتكون علامات النيم المائية بواسطة الأمواج والتيارات في الرواسب الحبيبية أثناء ترسيبها، ولا توجد هذه العلامات مطلقاً في الطين. أما التيارات الهوائية فيتسبب عنها علامات للنيم في الرمال أو الغبار. وطبقاً للعالم (كندل) تتميز علامات النيم بثلاثة ثوابت هي:

طول الموجة (Wave length): وهي المسافة الأفقية بين قمتي متجاورتين أو قاعين متجاورين.

السعة (Amplitude): وهي المسافة الرأسية بين قمة وقاع علامة النيم.  
معامل علامة النيم (Ripple index): وهو النسبة بين طول الموجة والسعة أي أن:

$$\text{معامل علامة النيم} = \frac{\text{طول الموجة}}{\text{السعة}}$$

علامات النيم الناشئة بفعل الأمواج:

تتميز علامات النيم الناشئة بفعل الأمواج والتي تسمى بعلامات النيم الاهتزازية أو علامات النيم المتماثلة بأن لها منحدرات متماثلة وقمم حادة وقاع مستدير كما في شكل (11) وقد شرح العالم (جلبرت) ميكانيكية نشأة علامات النيم الاهتزازية. ففي أثناء حركة الأمواج تتحرك جزئيات الماء في مدارات تكاد تكون دائرية على سطح الماء ثم تنتقل هذه الحركة إلى أسفل، ولكن المدارات الدائرية سرعان ما تتغير إلى مدارات بيضاوية يكون محورها الطويل في وضع أفقي وبالقرب من القاع فإن الأشكال البيضاوية تكاد تكون مسطحة وتصبح الحركة متأرجحة إلى الأمام والخلف.



(شكل 11)

علامات النيم الموجية وعلاقتها بالتطابق المتقاطع

وأي بروزات أو نتوءات تتواجد على القاع تحدد السرعات بالتبادل على الجانبين، وفي النهاية تنشأ مرتفعات ذات منحدرات متماثلة وقمم حادة، وترتب هذه المرتفعات نفسها بمجرد نشأتها. ويعتمد طول علامة النيم وسعتها على طول الموجة، ومدة تأثيرها، وعمق المياه. وبمجرد تكون علامات النيم الموجية فإنها تظل تقريباً في مكانها الأصلي ولا تتقدم للأمام أو الوراء، كما تظل القمة والقاع ثابتة في موضعها وذلك بشرط عدم زيادة شدة الأمواج، أما إذا قلت شدة الأمواج فإنها لا تؤثر عليها. وتتكون علامات النيم الموجية في الرمال التي

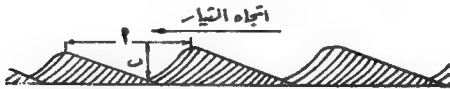
ترسب على قاع الأحواض الترسيبية والتي تؤثر الأمواج على مياهاها، وبالتالي فإن حركة الأمواج تحرك رمال القاع. وتوجد علامات النيم عادة في رواسب القيعان الضحلة لمعظم البرك والبحيرات أو البحار التي تتعرض مياهاها لتيارات شديدة.

أما عمليات دفن وحفظ علامات النيم الموجية فإنها تكون سهلة إذا كانت رواسب الغطاء ترسب من مواد عالقة، ولكن هذا الحفظ يكون صعباً إذا كانت تيارات القاع تحرك الرواسب وبذلك تدمر تلك التيارات علامات النيم في زمن قصير وتطمسها رغم تماسكها، وبذلك يتضح أن سرعة دفن تلك التراكيب من الأمور الضرورية لحفظها، والأمواج الضعيفة لا تدمر علامات النيم الموجية، ولكن قد ينشأ عنها علامات أخرى للنيم قاطعة للعلامات الأصلية وذلك إذا كانت الأمواج الضعيفة قادرة على تحريك المياه. ومن المعروف أن طول الموجة يزداد من السطح إلى أسفل لأعماق محدودة ثم تقل بعد ذلك إلى أن تختفي. وحيث أن الأمواج الكبيرة لا تتكون في المياه الضحلة جداً، فمن الواضح عن علامات النيم الموجية التي تتكون تحت هذه الظروف تكون طول موجاتها وسعتها صغيرة وطبقاً لمشاهدات العالم (كنديل) فإن المياه التي عمقها أقل من 15 سم تتكون فيها علامات نيم تبلغ سعتها 5 سم أو أقل. ولكن علامات النيم التي لها هذه الأبعاد قد تتكون أيضاً في المياه على جميع الأعماق. وتبعاً لذلك فإن علامات النيم الموجية ليست مقياساً حقيقياً للعمق الذي تكونت فيه، غير أن علامات النيم التي طول موجاتها وسعتها كبيرة تدل على أنها تكونت في المياه ذات أعماق متوسطة ويتفاوت طول موجة علامات النيم الموجية من 0.5 سم إلى 50 سم، ويتراوح غالبيتها بين 3 سم، 12 سم، أما سعة الموجة فيتراوح من 0.1 سم إلى 4 سم ويتفاوت معظمها بين 0.5 سم،  $1\frac{1}{2}$  سم، أما معامل علامة النيم فيختلف من حوالي 4 إلى 10.

وعلامات النيم الموجية ذات أهمية كبيرة لتحديد اتجاه ووضع الطبقات حيث أن القمة الحادة تتجه إلى الطبقات العلوية، أما القيعان المستديرة فإنها تتجه إلى الطبقات السفلية، وبذلك يصبح من السهولة تحديد الطبقات العلوية والسفلية في التكاوين الصخرية مما يساعد على حل بعض التراكيب المعقدة.

#### علامات النيم الناشئة بفعل التيارات المائية:

تختلف علامات النيم التيارية عن علامات النيم الموجية بأنها غير متماثلة، وقممها مستديرة كما في شكل (12) وتحت سرعة معينة، تختلف تبعاً للعمق وصفات الرمال، فإن التيار ليس في قدرته تحريك الرمال التي ينساب فوقها، غير أنه بزيادة سرعة التيار تبدأ بعض الحبيبات في الحركة. وتختلف شدة التيار اللازمة لتحريك الرمال باختلاف عمق المياه والصفات الطبيعية للرمال، فعلى سبيل المثال تبدأ الرمال الناعمة التي متوسط قطرها 0.04 مم وتوجد على عمق 0.3 متر، الحركة عندما تصل سرعة التيار 0.26 متر، ثانية بينما تبدأ حركة الحصى، الذي متوسط قطره 7 مم ويوجد على عمق 0.66 متر، عندما تصل سرعة التيار إلى 0.86 متر/ ثانية.



(شكل 12)

#### علامات النيم التيارية المائية والتطابق المتقاطع

(ب) سعة الموجة

(أ) طول الموجة

وعندما تصل شدة التيار إلى النقطة الحرجة الأولى، فإنه يبدأ تكون علامات النيم على هيئة مرتفعات ذات الحدار صغير في اتجاه التيار بينما يكون الانحدار شديداً في اتجاه عكس التيار، وتتحرك الحبيبات إلى أعلى في اتجاه التيار ثم تتحرك ثانياً إلى أسفل في اتجاه عكس التيار. وقد توجد دوامات في اتجاه

عكس التيار وينشأ عنها أن الحبيبات الدقيقة تتحرك لمسافات قصيرة على المرتفعات في اتجاه عكس التيار.

وتهاجر علامات النيم التيارية في اتجاه التيار، رغم تماسكها في جميع الأوقات، وتحرك نقط الحبيبات العلوية التي توجد في اتجاه التيار. ويكون الانحدار الشديد لعلامات النيم التيارية في الاتجاه السفلى للتيار. ويؤدي الاختلاف الكبير في اتجاه التيارات بالمياه الراكدة إلى نشأة علامات النيم تكون فيها المنحدرات في اتجاه عكس التيار مائلة في اتجاهات متعددة والتطابق الرقائقي في علامات النيم التيارية يكون موازيا للمنحدرات التي في اتجاه عكس التيارات، كما تتحدد ميولها تبعاً لسرعة التيارات وكمية الرمال ولكنها لا تزيد عن 43 درجة ويكون مقدارها عادة أقل من 30 وفي حالة علامات النيم التيارية تتجمع الرمال الخشنة في القاع، أما الرمال الناعمة فإنها تتجمع في القمة وإذا كانت رواسب الرمال كثيرة، فإن علامات النيم تدفن بعد تكونها وبالتالي تتكون علامات جديدة فوق التراكييب السابقة. ويوجد تركيب رقائقي على الجانبين اللذين في اتجاه التيار وفي عكس هذا الاتجاه، وتشبه الطبقات كما لو كانت مجمعة تجميعاً غير متماثل.

وعلامات النيم التيارية وأشكالها المقلوبة تكون متشابهة، ومن المستحيل التمييز بينهما من شكلها العام، غير أنه بفضل الرقائق ذات التطابق المتقاطع والتي تصاحب علامات النيم التيارية وتتواجد على السطح العلوي للطبقة فإنه يمكن تحديد الاتجاه الحقيقي للطبقات. وتتكون علامات النيم التيارية في جميع الأعماق التي تتعرض لتأثير التيارات، فعلى سبيل المثال تتكون علامات النيم التيارية على أعماق تصل 250 متراً، وعلى ساحل نيوزيلاند على عمق حوالي 300 متر، وبالقرب من جزر أزوروس على عمق 800 متر، وفي بعض القنوات بالقرب من جزر كنای توجد على عمق 2000 متر ويتضح من ذلك أن علامات النيم التيارية الكبيرة لا تتكون في المياه الضحلة جداً، ويتراوح طول موجة علامات النيم التيارية البسيطة من حوالي واحد سنتيمتر إلى 25 سنتيمتراً، بينما



تفاوت السعة من 0.5 سم إلى 5 سم، ومعظمها يتفاوت من 0.3 سم إلى واحد سنتيمتر، أما معامل الموجة فيختلف من 4 إلى 20 ويتراوح في معظم الأحيان من 4 إلى 10، أما طول الموجة فإنها تزداد كلما زادت سرعة التيار.

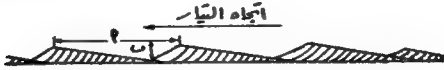
ونادرا ما تكون التيارات بسيطة، إذ إن كثيرا من علامات النيم التيارية تكون محصلة تيارات مركبة نتيجة اتحاد تيارين أو أكثر، وبذلك قد تتكون أنواع معقدة مثل علامات النيم اللسانية (Linguoid) وعلامات النيم معينة الشكل (Rhomboid) وعلامات النيم الاهتزازية المتقاطعة.

#### علامات النيم المائية وتركيب الرواسب:

تتكون علامات النيم المائية في حالة الرواسب المفككة التي توجد على شكل حبيبات دون اعتبار لتركيبها المعدني. وحيث إن معظم الرمال تتكون من الكوارتز، لذلك فإن غالبية علامات النيم تتواجد بالرمال وتكون محفوفة في الصخور الرملية (الكوارتزية) ولكن كثيرا من الشواطئ وقيعان البحار قد تكون مغطاة برواسب حبيبية من الكلسيت والأراجونيت أو الدولوميت ومثل هذه الرواسب تحتوى على علامات النيم والتي تشبه تلك التي توجد في الصخور الرملية الكوارتزية تحت نفس الظروف. وكثير من الصخور الجيرية بالعمود الجيولوجي يوجد بها علامات النيم الكبيرة والتي يتراوح طول موجاتها من 0.33 متر إلى 2 متر، وتختلف في درجات تماثلها، كما أن قممها تكون مستديرة. ويتضح من ذلك أن علامات النيم التي تتكون تحت هذه الظروف تكون مركبة وقد أسهمت في نشأتها الأمواج والتيارات المائية.

#### علامات النيم الهوائية:

تتكون علامات النيم الهوائية دائما من النوع المبنى بالتيارات وغير متماثلة، ويكون ميلها أقل في اتجاه الريح وذات المحدار كبير في عكس اتجاه الريح كما في شكل (13) وتنشأ علامات النيم الهوائية في أي مادة مفككة مثل الغبار والرماد والرمال والتلج، ولكن غالبيتها ذات صلة وثيقة بالكثبان الرملية.



(شكل 13)

علامات النيم التيارية الهوائية والتطابق المتقاطع

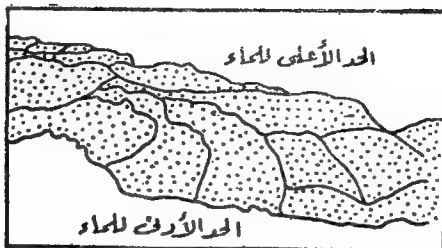
(ب) سعة الموجة

(أ) طول الموجة

ويختلف طول الموجة ومسعتها باختلاف سرعة الرياح وحجم حبيبات الرمال، فيزيد طول الموجة من 5 سم إلى 10 سم، أما معامل موجات النيم الهوائية فيتفاوت من 20 إلى 50. وفي حالة بعض الرمال الخشنة توجد موجات يصل طولها حوالي 25 سم أو أكثر. ونادراً ما تلاحظ علامات النيم الهوائية بالعمود الجيولوجي ولكن العالم (ما كاي) في عام 1934 ذكر وجود علامات النيم الهوائية في بعض الصخور الرملية التابعة للعصر البرمي في أريزونا بأمريكا.

##### 5. علامات الموج:

علامات الموج عبارة عن نتوءات منخفضة جداً وضعيفة، وتوجد على طول الشواطئ الرملية، ويصل ارتفاعها عادة لحوالي  $\frac{1}{2}$  مم أما عرضها فيبلغ 3 مم أو أكثر. وتتكون هذه العلامات على الحدود العليا للأمواج عند تلاطمها على الشاطئ. وعندما تتراجع مياه الأمواج عن الشاطئ فإن كل موجة تدمر كل علامات الموج السابقة وتبنى علامة خاصة بها. ونتيجة لهذه العملية فإننا نلاحظ أن علامات الموج تقطع ما يتلوها من علامات أعلى على الشاطئ كما في شكل (14) وهذه العلامة قد تساعد في التعرف على اتجاه وجود الرواسب بالنسبة للرواسب التي تتماسك وقت ترسيبها.



شكل (14)

علامات الموج

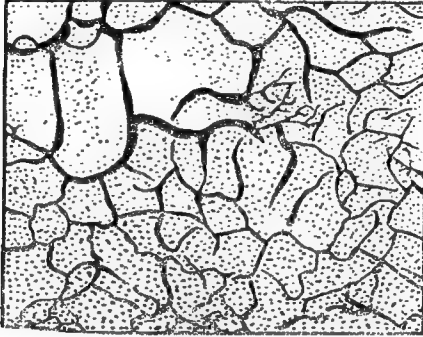
## 6. علامات الغدير:

توجد هذه التراكيب على الشواطئ وهي تنشأ نتيجة تفرعات صغيرة مثل فروع الشجر عندما تتراجع الأمواج العالية أو تنحسر مياه المد والجزر عن الشاطئ. والمواد الرملية الطينية التي توجد على الشاطئ عندما تغطيها المياه تصبح مشبعة بالماء، ولكن عند انخفاض منسوب الماء ينساب من على سطح الرواسب إلى مستويات منخفضة، وينشأ عن ذلك قنوات صغيرة تكون عادة على شكل فروع الأشجار. ويتفاوت عرض علامات الغدير من 2مم إلى 10مم، أما طولها فقد يصل لأكثر من نصف متر، ويصل عمق القنوات لحوالي ملليمتر واحد. وهذا النوع من العلامات الشجرية قد يوجد في بعض رواسب العمود الجيولوجي، بالرغم من ضآلة الظروف الملائمة لحفظ هذه التراكيب.

## 7. التشققات الطينية:

تنشأ التشققات الطينية، شكل (15)، التي تعرف أيضاً بالتشققات الشمسية أو التشققات الانكماشية: عندما تتفقد الرواسب ما تحتويه من ماء. وتحاطب التشققات بأشكال متعددة الأضلاع تختلف في عدد أضلاعها وفي الزوايا بين هذه

الأضلاع. وتعتمد الاتجاهات والمسافات بين الأضلاع على صفات وسمك الرواسب؛ وسرعة الجفاف، وتوزيع الشوائب في الطين، ودرجة التطابق، وملوحة المياه التي تكونت فيها الرواسب، وصفات وكمية المياه بالرواسب السفلية. ونادراً ما تكون التشققات مستقيمة وقد تحاط بعدد من الأضلاع بتراوح من 3 إلى 8 ولكنه غالباً يتفاوت من 3 إلى 5.



شكل (15)

#### التشققات الطينية

وتتكون التشققات الطينية في جميع الرواسب المتماسكة لدرجة كافية والتي تتعرض لعوامل الجفاف. ويدل وجود التشققات الطينية في الغالب على وجود ظروف مناسبة للجفاف أثناء تكون الراسب، غير أن بعض الرواسب الطينية قد تشقق تحت ظروف معينة وهي مغطاة بالماء. وقد يتكون طابع للتشققات الطينية على السطح السفلى للرواسب التي تتكون فوقها مباشرة، وهذه الطوابع قد تنشأ في رواسب لا تتكون بها تشققات طينية، كما أنها تختلف عن التراكييب الأصلية بأنها على هيئة تنوعات بارزة بدلاً من المنخفضات التي تميز التشققات الطينية الأصلية.

ويتحدد موضع التشققات الطينية بأشياء أو مواد أو ظروف توجد بالطين وتقلل من تماسكه مثل وجود قطع صغيرة من الخشب أو القش أو الشعر أو مواد نباتية. ويحتمل أن يؤدي وجود ثقوب بالطين إلى نشأة تشققات متعددة ومتشعبة للخارج، كما تمتد الشقوق في الاتجاهات الأقل تماسكا. والتشققات التي تتكون مبكراً تكون عادة أكثر طولاً وعرضاً وعمقاً عن التشققات التي تتكون متأخرة. وإذا كان الطين متجانساً وله سمك منتظم وخال من المواد الغريبة والشوائب فإن التشققات التي تنشأ به تكون عادة على هيئة أشكال سداسية منتظمة.

ويتوقف عرض التشققات الطينية على صفات وسمك الطين، ووفرة الشوائب والمواد الغريبة في الطين، ونظام تكونها. وتكون التشققات أكبر عرضاً في الطبقات الطينية السمكية، أما الرواسب الطينية الرقيقة فتكون تشققاتها متقاربة. والرواسب الطينية التي تحتوي على مواد جيرية أو رملية تتكون بها تشققات طينية متقاربة. وهناك اعتقاد بأن الجفاف البطيء يؤدي إلى تقارب في التشققات الطينية، أما الجفاف السريع فيؤدي إلى عكس ذلك.

وتوجد التشققات الطينية بدرجة أكبر في الرواسب القارية وبدرجة أقل في الرواسب البحرية، كما قد تنشأ في سهول بعض الصحارى. وتتوافر أفضل الظروف لنشأة التشققات الطينية في السهول الفيضانية والدلتا بالمناطق شبه القارية وغير المغطاة بالأشجار والنباتات ففى أثناء مواسم الفيضان تغطى السهول الفيضانية والدلتا بالماء وترسب طبقات من الطين، وعندما تنحسر المياه تجف الرواسب وتتكون تشققات من أنواع مختلفة تتفاوت من الأنواع الكبيرة المتباعدة في طبقات الطين السمكية إلى التشققات الصغيرة المتقاربة ذات المنحنيات في طبقات الطين الرقيقة.

والتشققات الطينية لها أهمية كبيرة من الناحية الجيولوجية بالإضافة إلى أنها تساعد في التعرف على بيئة الترسيب، وقد يؤدي تكرار تشقق الرواسب إلى تدمير التتابع وتحويل الرواسب الطينية إلى كتلة متجانسة غير متطابقة أو إلى بريشيا نتيجة للجفاف. وقد تساعد التشققات الطينية على حل بعض التراكيب

المعقدة، إذ إن التشققات تمتلئ بالرواسب التي تغطيها والتي تختلف عادة في الصفات عن الرواسب الأصلية مكونة تنوءات تدل على اتجاه قاع الطبقات التي تتواجد بها التشققات، وبذلك يمكن بسهولة تحديد الوضع الحقيقي للطبقات.

#### 8. التشوه المعاصر (المتزامن) للرواسب:

هناك اهتمام متزايد بدراسة تشوه الصخور غير ناضجة التكوين، نتيجة للقوى التي ليست لها علاقة بالحركات الأرضية. وهناك عدة عوامل تؤدي إلى تشوه الصخور اللينة بعد ترسيبها ومن أهم هذه الأسباب ما يأتي:

(أ) الانزلاق.

(ب) التماسك.

(ج) انسياب الرواسب للضغوط الرأسية من الصخور العلوية.

(د) الاندفاع بالعوامل السطحية.

(هـ) إعادة التبلور.

#### (أ) التشوه الناشئ بالانزلاق:

يحدث الانزلاق بالرواسب التي ليس لها أساس كاف، وقد يعزى ذلك إلى الترسيب على سطوح شديدة الانحدار، أو زيادة كبيرة في مقدار الرواسب على نطاق ضيق مما يؤدي إلى نشأة سطح شديد الانحدار، أو إزالة صخور الغطاء نتيجة لعوامل التعرية، أو هبوط مستوى الماء الأرضي، أو ذوبان الجليد. ويتزايد احتمال الانزلاق كلما زادت كمية المياه في الرواسب نتيجة لزيادة احتمالات الحركة وقد يحدث الانزلاق فوق سطح الأرض أو تحت سطح الماء.

وقد ترسب الرمال غير المستديرة إلى منحدرات تصل زاوية ميلها إلى 43°، بينما ترسب الرمال المستديرة على مستويات أقل انحداراً تصل 38°، ولكنها لا تبقى في موضعها إلا إذا كان سمك الرواسب منتظماً على جميع أجزاء المنحدر، إذ أن أي هزات خفيفة يتسبب عنها بدء الحركة والانزلاق. أما

المواد الصلصالية فهي لا تترسب مطلقاً على المنحدرات التي تزيد عن 30°، لأن أى حركة بسيطة جداً تسبب انزلاقها، وكثير من حالات انزلاق الرواسب التي تحتوي على الصلصال معروف في رواسب ذات الانحدار يتراوح من 10 إلى 15°، ومن الأمثلة على ذلك أن انزلاقاً كبيراً قد حدث في بحيرة تزوجر بسويسرا في رواسب صلصالية يتراوح سمكها بين متر إلى 12 متراً وعرضها 25 متراً وامتدادها يصل إلى عمق 45 متراً من الشاطئ وترسبة على الانحدار قدره  $2\frac{1}{2}^\circ$ . وترسب الرواسب تحت سطح الماء يحدث على سطوح متفاوت ميلها من صفر إلى حوالي 90°، وقد تعزى الانحدارات الشديدة نتيجة للترسيب أو النشاط البركاني تحت سطح الماء أو الحركات التكتونية. وهناك مساحات شاسعة من قيعان البحار بالقرب من جزر الهند الغربية والشرقية واليابان وجزر الفلبين ومناطق أخرى توجد بها سطوح ترسيب انحداراتها شديدة نتيجة النشاط البركاني والحركات التكتونية.

والترسيب السريع على النطاق المحلي يوجد على الأجزاء الأمامية للدلتا، وخاصة تلك التي تترسب في مياه هادئة غير معرضة لعوامل المد والجزر وبها أمواج وتيارات ضعيفة، وبذلك يزداد ثقل الرواسب مما يؤدي إلى انزلاقها، ويحدث الانزلاق أيضاً على نطاق كبير حول الشعب المرجانية، حيث تبنى الصخور العضوية عادة على منحدرات شديدة مما يساعد على الانزلاق. وفي حالة الانهار فإن شق الجرى وملئه بالرواسب يساعد على تكون منحدرات على جوانب الأجزاء العميقة مما يساعد على انزلاق الرواسب. وينشأ عن انزلاق الرواسب البحرية الظواهر الآتية:

1. تصبح الرواسب، التي كانت في الأصل على أعماق قليلة، بعد انزلاقها على عمق أكبر.
2. زيادة سمك الرواسب وعدد الطبقات بعد الانزلاق.
3. قلة سمك الرواسب وعدد الطبقات في المواضع التي يبدأ عندها الانزلاق.

4. تغيير ترتيب الطبقات إذا أصبح صخوراً قديمة واقعة فوق صخور أحدث عمراً.

5. نشأة عدم التوافق محلياً.

6. تتواجد الرواسب والحفريات المميزة لأعماق ضحلة على أعماق أكبر.

ويؤدي الانزلاق إلى نشأة طيات مقفولة غير متماثلة ومقاوية في الرواسب التي توجد أسفل الانزلاق، بينما تتكون طيات مفتوحة غير متماثلة في الرواسب التي توجد على السطح العلوي للانزلاق، كما أن مستويات محاور الطيات تكون في اتجاه الانحدار. وفي نفس الوقت يحدث شد على محاور الطيات مما يؤدي إلى نشأة بعض الفواصل. والصور النهائية للتشوه نتيجة للانزلاق تعتمد على عدة عوامل أهمها ما يأتي:

(أ) سمك الطبقات المشتركة في عملية الانزلاق.

(ب) نوع وصفات الرواسب.

(ج) نوع الطبقات التي تقع تحت وعلى جوانب الرواسب المنزلقة.

(د) درجة ميل سطح الترسب.

وإذا كانت الرواسب المنزلقة متماسكة لدرجة ما، فإنه يحتمل أن تهشم مكونة بريشيا انزلاقية وإذا تواجدت حبيبات كبيرة مفككة بالرواسب فإن الانزلاق يتسبب في تركيز هذه المواد في مكان يختلف عن الصخور الرسوبية المحيطة بها وبذلك تتكون صخور كونجلمرات قاطعة لمستويات التطابق الأصلية، وبعد عملية الانزلاق فإن عوامل التآكل تحت سطح الماء قد تؤدي إلى تسوية سطح الصخور المنزلقة، والتي ترسب عليها صخور أخرى في عدم توافق كما يتضح في شكل (16).

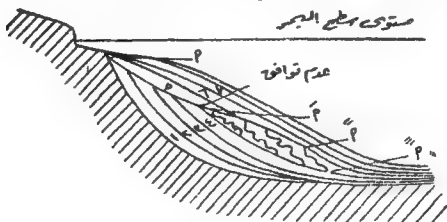
(ب) التشوه الناشئ بالتماسك:

يحدث التشوه بالتماسك نتيجة لترسيب الرواسب على أجسام صلبة كما هو الحال في التلال المدفونة أو الشعب المرجانية أو عدسات من الحصى والرمال كما في شكل (17) ويعزى التماسك أساساً إلى طرد الماء، ومحاولة الوصول



لدرجة أعلى من تقارب الحبيبات واندماجات جديدة للرواسب. وقد يحدث التشوه نتيجة للتماسك في جميع أنواع الرواسب ولكنه يتواجد بدرجة ضئيلة في الرواسب التي تتكون من أصداف الحيوانات والرمال والمواد المفككة الخشنة، بينما يكون التشوه الناشئ عن التماسك ذا أهمية كبيرة في الرواسب دقيقة الحبيبات مثل الصلصال والطين الجري.

والتلال أو الشعب المرجانية المدفونة وكذلك عدسات الرمال والمواد المفككة الخشنة لا تتعرض للتماسك، أما الرواسب دقيقة الحبيبات التي ترسب فوق أو حول تلك التلال فإنها تماسك لدرجة كبيرة. ويتج عن ذلك أن الصخور سهلة التماسك التي تغطي صخوراً عديمة التماسك تصبح بعد تماسكها مقوسة على شكل طيات محدبة، أو قباب تتوقف صورتها النهائية على شكل التلال المدفونة وتسمى مثل هذه الطيات بأنها طيات التماسك وقد تغطي مساحات كبيرة للطبقات العلوية التي تغطي التلال المدفونة الصلدة.



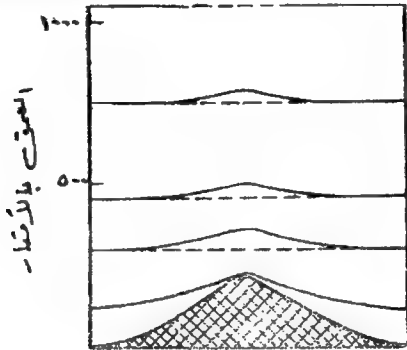
(شكل 16)

رسم تخطيطي يوضح تأثير الانزلاق على الرواسب

أ-1 = سطح بداية الانزلاق.

أ-2 = الانزلاق بعد التآكل.

أ-3 = السطح الذي تم عليه الانزلاق.



(شكل 17)

تماسك غير منتظم لطبقات من الصلصال يوجد تحتها هضبة من صخور  
متماسكة مما أدى إلى نشأة طيات عديدة

وبما أن طيات التماسك تعزى إلى التضاريس القديمة أو طبوغرافية قيعان  
البحار والمحيطات أو التلال والشعب المدفونة أو لوجود وحدات رسوبية عديدة  
التماسك، فإنه ينتج من ذلك أن تلك الطيات ليس لها نظام معين وذلك على  
عكس الطيات الناشئة لتعرض الصخور للحركات الأرضية.

(ج) التشوه الناشئ بانسياب الصخور:

إن تراكم الرواسب ينشأ عنه حمل على الصخور السفلية، فإذا ازداد مقدار  
الحمل تفاضلياً في مكان معين (أي يختلف من موضع لآخر)، فإن الرواسب  
دقيقة الحبيبات تتحرك إلى الخارج تحت الأجزاء التي يكون فيها الحمل أكبر ما  
يمكن إلى المناطق ذات الحمل الأقل، وينتج عن ذلك تجمعها وطبها. وتبنى  
الشعب المرجانية على رواسب لينة تتعرض لضغوط راسية من أعلى إلى أسفل  
مما يؤدي إلى انسياب الرواسب اللينة. وتنشأ القباب الملحية من الرواسب

التبخيرية نتيجة انسيابها للندن تحت تأثير الضغوط الرأسية للرواسب العلوية وقد يصاحب نشأة هذه القباب تراكيب معقدة ناتجة عن الانسياب للندن للصخور.

#### (د) التشوه الناشئ عن الاندفاع بالعوامل السطحية:

من المعروف أن تشوه الرواسب على نطاق كبير قد يحدث نتيجة اندفاع الصخور بواسطة التلاجات والجبال الثلجية والكتل المنزلقة على الأرض والصخور وينشأ عن التشوه صخور من البريشيا وطيات مقلوبة وفوالق، بالإضافة إلى طيات بسيطة قد تتكون في المناطق البعيدة، وقد يكون التشوه شديد التعقيد كما في شكل (18). والاندفاع الناشئ عن بحر الجليد العائم في وقتنا الحالى قد يؤدي إلى تشوه الرواسب السفلية التي تقع مباشرة تحت الجليد.



شكل (18)

#### تشوه الرواسب نتيجة اندفاع التلاجات

ومن البديهي أن التشوه ينشأ في طبقات معينة، قد تكون طبقة واحدة أو أكثر، في صورة أنواع مختلفة من الطيات والفوالق. والصلصال الثلجي لبحيرات عصر البلايستوسين يوجد به تشوه واضح بفعل الجليد العائم. وقد ينشأ تشوه محدود نتيجة لاندفاع جليد البحيرات على الشواطئ ورواسب القيعان الضحلة، ويأخذ التشوه عادة صورة الطيات والفوالق.

#### (هـ) التشوه الناشئ من إعادة التبلور والعوامل الأخرى:

يعزى التشوه لإعادة التبلور إذا كانت المعادن الجديدة أكبر حجما من المعادن القديمة مثل تحول الأراجونيت إلى كلسيت ويكون ذلك مصحوبا بزيادة

في الحجم قدرها 8.35 في المئة. وكذلك أيضاً تحول الأنهدرايت إلى جبس ويكون مصحوباً بزيادة في الحجم قدرها 63 في المئة. ويوجد هذا النوع من التشوه بدرجتي واضحة في الرواسب الملحية في ستاسفورد بالمانيا، وكذلك في رواسب الجبس والأنهدرايت في نيويورك بكندا. وفي هذه الحالات يأخذ التشوه صورة مصغرة لطيات محدبة ومقعرة تتراوح في أبعادها من 12 سم إلى 20 سم والرواسب التبخرية التي تنتمي إلى العصر البرمي يوجد بها أيضاً تراكيب مشابهة ولكن بدرجة أكبر. وجدير بالذكر أن التشوهات الناتجة من تحول الأراجونيت إلى كلسيت غير معروفة.

وهناك عوامل أخرى للتشوه مثل استخراج الخامات المعدنية والفحم والمواد الأخرى من المناجم والمحاجر، واستنفاد حقول البترول وموارد المياه الأرضية والتي قد تؤدي إلى انهيار الصخور وتشوه الطبقات العلوية والمجاورة. وتحدث نفس الظاهرة في الكهوف الناتجة بفعل المحاليل التي تذيب الصخور سهلة الذوبان مثل الملح الصخري، مما يؤدي إلى حالة عدم توازن ميكانيكي بين الصخور التي تتعرض للتشوه. وعلى سبيل المثال نذكر أن بعض الطبقات التي تحتوي على رواسب تبخرية قد تتشوه لدرجة كبيرة مكونة طيات محدبة ومقعرة يصل عرضها حوالي 50 متراً وارتفاعها 6 أمتار أو أكثر. وتعزى هذه التشوهات أساساً إلى فعل المحاليل.

بعض صفات التشوه المعاصر للرواسب:

1. لا توجد علاقة بين الترتيب المتوازي للمعادن (التورق) والتشوه المعاصر للرواسب.
2. يكون التشوه محصوراً في المنطقة غير المتزنة ميكانيكياً أما الصخور التي توجد أعلى وأسفل هذه المنطقة فلا تتأثر بالتشوه.
3. قد تكون التشوهات المعاصرة مشطوفة (Bevelled) إما من أعلى أو من أسفل، كما قد توجد ظاهرة عدم التوافق.

4. تكون التراكيب بسيطة أو معقدة، كما توجد تراكيب معكوسة في نفس الطبقات على مدى مسافات قصيرة.
5. تملأ الفجوات الناتجة عن التشوه برواسب الصخور التي تحركت وليس بالمواد الناتجة بالترسيب من المحاليل.
6. وجود حدود فاصلة غير محددة بين الكتل المتحركة على سطوح القوالب وقد يظهر بالطبقات ظاهرة السحب.
7. عدم تشوه بعض الأجسام الصلبة مثل المحارات أو حبيبات كبيرة مفككة.

#### 9. الدرnat الصخرية:

الدرnat الصخرية عبارة عن تجمعات من مواد رسوية غير عضوية في رواسب أخرى، وكثير منها يحتوى على نواة، أما تراكيبها الداخلية فيكون عادة مركزياً. وتكون الدرnat عادة ذات تركيب بطروخى وباذلاى، (أو محصى). وتوجد الدرnat في جميع تكاوين الصخور الرسوية غير المتحولة من أقدمها إلى أحدثها، وتنشأ الدرnat بطرق متعددة ونتيجة لذلك فإن لها أهمية خاصة من الناحية الترسيبية. وتختلف الدرnat الصخرية اختلافاً كبيراً في تركيبها ونادراً ما تتكون من مادة واحدة. وتتكون معظم الدرnat من الكلسيت والسيليكا والهيماتيت والليمونيت والسيديريت والبيريت والماركازيت والجبس والباريت والأراجونيت وأكاسيد المنجنيز وفوسفات الكلسيوم والفلوريت والبوكسيت وغيرها.

والدرnat السيليسية تكون غالباً على هيئة صوان وتشيرت وقليل منها من الكالسيدونى وكثيراً منها من الطمى السيليسى والرمال التي تتماسك عادة بمواد لاحمة من السيليكا أو الكربونات. وتوجد درnat الصوان والتشيرت عادة في الصخور الكربوناتيّة مثل الصخور الجيرية، أما درnat الطمى السيليسى والرمال فتوجد عادة بالطمى والصخور الرملية. وقد وصف العالم بروفنل درnat من الكوارتز في رواسب من الجبس والأنهدرايت.

ودرنات أكاسيد الحديد شائعة الوجود في كثير من الصخور الرملية وتتكون من رمال كوارتزية تماسك بمواد لاحمة من الهيماتيت والليمونيت. وتتكون درنات أكاسيد الحديد أيضاً في رواسب بعض البحيرات وفي التربة وخاصة تلك التي تتكون من اللاتيراييت وقد توجد أيضاً في بعض الصخور الجيرية. أما درنات السيدريت فتوجد عادة بالصلصال الذي يحتوى على نسبة عالية من المواد العضوية، وتكاد تكون غير نقية على الإطلاق، ويكون الحديد في الأجزاء الخارجية على هيئة أكاسيد ودرنات البيريت والماركازيت تتكون أساساً من تجمعات بلورية ذات تركيب شعاعى وشكل كروي، ويوجد هذا النوع من الدرنات بالرواسب التي تحتوى على نسبة عالية من المواد العضوية كما توجد بوفرة في بعض أنواع الفحم والطين الصفحى البحرى ذات اللون الأسود.

وتوجد درنات الجبس في الطين الصفحى والصخور الرملية على هيئة كرات إسفنجية ذات أحجام صغيرة، ولا يزيد قطرها عن 5 سم. وتتكون درنات الباريت واتي تسمى (الورد المتحجر) من تجمعات بلورية من الباريت الذي يكون مادة لاحمة للرواسب التي تتواجد فيها درنات الباريت.

وأكاسيد المنجنيز على هيئة بسيلوميلين (Psilomelane) أو الواض (Wad) تكون درنات برواسب المنجنيز الثانوية. كذلك توجد عقد من أكاسيد المنجنيز في قيعان البحار الحالية وكثير منها يتكون من رواسب أخرى بها مواد لاحمة من أكاسيد المنجنيز وبعضها يحتوى على نواة من صخور أخرى أو مواد عضوية.

وتتراوح أبعاد الدرنات من أقل من واحد ملليمتر في القطر من البطروخيات إلى كتل كبيرة كروية الشكل يصل قطرها لأكثر من أربعة أمتار وأشكال تشبه كتل الخشب ويصل طولها أكثر من ثلاثين متراً. ويعتقد أن الدرنات الكبيرة تتكون بصفة خاصة في الصخور الرملية وكذلك في الطين الصفحى أما الدرنات التي تنشأ بالصخور الجيرية والتي تتكون عادة من الصوان والتشيرت فيصل قطرها إلى مترين أو أكثر.

ويختلف شكل الدرنات الصخرية اختلافاً كبيراً، فبعضها يشبه الحيوانات والنباتات وبعض الأشياء التي يصنعها الإنسان مثل الحلقات والقنابل وغيرها. ومعظم الدرنات ذات أشكال بيضاوية أو كروية أو قرصية وأحياناً إسطوانية أو شجرية كما قد تكون ذات أشكال غريبة غير منتظمة. ويختلف سطح الدرنات أيضاً بدرجة كبيرة، فبعضها ذات سطوح مستوية ملساء ومتميزة عن الصخور المحيطة بها، بينما نجد الأخرى لها سطوح خشنة وغير منتظمة وتندرج بالصخور المحيطة كما أن السطوح العلوية لبعض الدرنات قد تحتوي على خدوش.

أما التركيب الداخلى للدرنات الصخرية فقد يكون مركزياً أو رقائقياً أو إشعاعياً أو غير متبلور. وبعض الدرنات تتميز بتركيب داخلى رقائقي مركزى، وتكون بعض الرقائق ذات تركيب شعاعى ودرنات البيريت والماركازيت والكلسيت تكون عادة ذات تركيب شعاعى. وتتميز بعض الدرنات أحياناً بتركيب رقائقي أفقي والتي يعتقد أنها تمثل مستويات الترسيب، ويوجد هذا النوع من الدرنات عادة بالصخور الرملية وأحياناً بالطين الصفحي والصخور الجيرية. وفي بعض الأحوال تتميز بعض الدرنات الصخرية بتركيب البنية المخروطية المتداخلة، وقد تحتوي كثير من الدرنات على نواة تتكون من معادن مختلفة أو قطع من هياكل الحيوانات أو القشريات أو مواد عضوية.

#### 10. الدرنات الشعاعية:

كثير من الدرنات التي تتكون عادة من الكلسيت تحتوي على شقوق أو عروق تمتد من السطح الخارجى إلى الداخل وتكون هذه الشقوق مملوءة تماماً أو جزئياً بمعادن مختلفة منها الكالسيت والباريت والجبس والماركازيت والبيريت والميليريت ولجالينا والسفاليرت والكالكوبريت وغيرها. وإذا كانت الشقوق غير مملوءة، فإن المعادن عادة تكون على هيئة بلورات. ويقل سمك الشقوق في اتجاه المركز وأقصى اتساع لها على السطح الخارجى يكون عادة أقل من خمسة سنتيمترات وكثير من الدرنات الشعاعية تحتوي على سطوح ذات خدوش واضحة كما قد يشمل بعضها على تركيب البنية المخروطية المتداخلة وتشبه

الدرنات الشعاعية بدرجة غير عادية الحفریات الناتجة من السلاحف وخاصة إذا كانت الشقوق ذات ترتيب متماثل. وعندما تتعرض الدرنات الشعاعية لتأثير المحاليل، التي تذيب المعادن المترسبة بالشقوق، فإن الدرنات تتفكك وتفقد شكلها الأصلي، وإذا أذابت المحاليل المادة التي بين الشقوق شبكية الشكل والتي تشغلها المادة المعدنية، فإنه ينشأ تركيب هيكلي يحتوى على العروق ومثل هذه البقايا الصخرية تسمى بالهيكل الصخري وجدير بالذكر أن الدرنات تتواجد عادة في الطين الصفحي الذي توجد فيه أحياناً هذه الأشكال بكميات كبيرة.

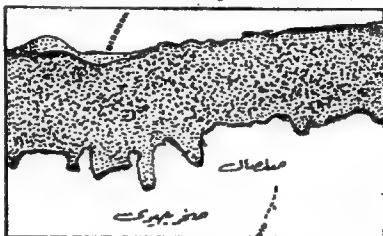
### 11. الجيود:

الجيود عبارة عن أجسام مجوفة عقدية الشكل، توجد عادة في الصخور الرسوبية ويشبه شكلها الخارجي لدرجة كبيرة الدرنات الصخرية. والسطوح الخارجية للجيود تكون عادة خشنة، أما الفراغ الداخلى فإنه يكون مبطناً بمعادن على هيئة بلورات كاملة النمو أو مواد متبلورة وقد تتكون الجيود في أي صخر رسوبى نتيجة لترسيب المواد من محاليل جارية على جدران الفراغات الكروية أو البيضاء الشكل. ومن الطرق الشائعة لنشأة التجاويف في بعض التكاوين الصخرية ترسيب المواد من المحاليل وأهمها السيليكا و كربونات الكالسيوم على سطوح وشقوق الأصداف البحرية. ويؤدي هذا الترسيب إلى زيادة اتساع الفجوات التي قد تبطن جدرانها فيما بعد ببلورات المعادن المختلفة والجيود التي من هذا الأصل توجد عادة في الطين الصفحي الجيري أو في الصخور الجيرية التي تحتوى على نسبة عالية من المواد الصلصالية، ويمكن مشاهدة جميع مراحل نشأة الجيود بالصخور من الزنقيات والمسرجيات وأصداف الحيوانات الأخرى. والمعادن الشائعة الموجود في الجيود هي الكوارتز والكالسيوم والكالسيت أما المعادن الأقل وجوداً فتشمل الدولومايت والباريت والسليستيت والسفاليريت والجالينا والكبريت وغيرها.



## 12. الزوائد الصخرية:

الزوائد الصخرية عبارة عن أعمدة ذات خطوط رأسية وأشكال هرمية ومخروطية الشكل والارتفاع والعرض توجد عادة بالصخور الرسوبية على مستويات التتابع والزوائد الصخرية التي توجد على السطح العلوي لأى طبقة تتداخل في السطح السفلى للطبقة التي تعلوها كما في شكل (19)



شكل (19)

ستيلوليت (زوائد صخرية) من الصلصال في صخور جيرية.

وتوجد الزوائد الصخرية بشكل واضح في الصخور الجيرية والدولوميتية ونادرا ما توجد بالصخور الرملية والكوارتزيت والجبس والطين الصفحي والتشيرت، ويتفاوت ارتفاع الزوائد الصخرية من أقل من ملليمتر واحد إلى أكثر من ثلاثين سنتيمترا ولكن معظمها يتراوح من 3سم إلى 20سم ومعظمها تكون مستقيمة والقليل منها على شكل منحنيات.

## 13. تركيب البنية المخروطية المتداخلة:

يوجد هذا التركيب عادة في الصخور الجيرية الصلصالية ويتكون من أجسام مخروطية الشكل متداخلة ومتوازية، وأحيانا يتكون التركيب من مخروط واحد فقط. وتتفاوت الأجسام المخروطية في طولها من أجسام صغيرة جدا إلى حوالى 20سم، لكن معظمها يتراوح من سنتيمتر واحد إلى عشرة سنتيمترات.

ويتوقف قطر القاعدة على ارتفاع المخروط ومقدار زوايا القمة وأحيانا يكون طول المخروط وقطر قاعدته متساويين تقريبا، ولكن طول معظمها أكبر بكثير من أقطار القاعدة، وتتفاوت زوايا القمة من 15 إلى 100 وعادة تختلف من 30 إلى 60 وجوانب الأجسام المخروطية بسرعة نحو القاعدة مما يؤدي إلى أن تكون الجوانب مقعرة للخارج وتتكون معظم الأجسام المخروطية من خيوط من الكلستيت لها مقطع عرضي مستدير تقريبا والخيوط توازي عادة محاور المخروط، ولكن بعضها قد يكون مائلا. ويوجد تركيب البنية المخروطية المتداخلة في الصخور الطينية متلازما مع الدرنات الصخرية. ومعظم الطبقات التي تحتوي على تركيب البنية المخروطية المتداخلة تكون عدسية الشكل. وهذه التراكييب شائعة الوجود في جميع الصخور الرسوبية المثلثة لجميع العصور الجيولوجية من العصر الكمبري الأوسط إلى العصر الثلاثي.

#### 14. انطباعات المطر وانطباعات البرد:

ينشأ عن قطرات المطر انطباعات دائرية أو بيضاوية على المواد الرملية والطينية غير المتماسكة. ويحيط بالانطباعات حواجز مرتفعة نتيجة لاصطدام قطرات الماء بالرواسب الرملية أو الطينية. ويكون عمق الانطباعات في حالة الرواسب الرملية أكبر من الرواسب الطينية، ويصل أقصى عمق للانطباعات إلى حوالي 3مم، أما عرضها فيتفاوت من 2 إلى 12مم. وتشبه انطباعات البرد (الجليد) إلى حد كبير انطباعات المطر، وعندما تكون دقيقة الحجم فإنه لا يمكن تمييزها عن بعض. وقد يسبب البرد انطباعات أكبر وأكثر عمقا من انطباعات المطر وأحيانا يبلغ قطر انطباعات البرد أكثر من 2 ملليمتر.

#### 15. انطباعات الفقاعات:

قد تصاعد الفقاعات الغازية أو الهوائية التي تتكون في الماء إلى قيعان المواد الطينية المترسبة حيث تبقى في مكانها بينما يترسب الطين حولها. وتتجمع الغازات في الرواسب إما من الهواء المحبوس بها أو نتيجة لعوامل التحلل

العضوى أو التخمر. وانطباعات الفقاعات تكون عادة منخفضات دائرية الشكل ذات حجم صغير وتتميز عن انطباعات المطر بسطوحها الناعمة وعدم وجود حواجز مرتفعة حولها، كما أنه قد يوجد تحتها أنابيب رقيقة، وتشبه تلك الأنابيب إلى حد كبير الحفر التي تنشأ عن الديدان. وانطباعات الفقاعات غير معروفة بصخور العمود الجيولوجي، ولكن من المحتمل أنها تكون موجودة ولكن لم يمكن التعرف عليها للشبه الكبير بينها وبين انطباعات المطر.

#### 16. آثار الحيوانات:

ترك بعض الحيوانات البحرية أثار انطباعات أقدامها في المواد الرسوبية دقيقة الحبيبات، وخاصة في حالة المواد الطينية التي تترسب في السهول الفيضانية للأنهار وتوجد هذه الآثار في جميع صخور العمود الجيولوجي منذ العصر الكمبري. والآثار الناتجة عن الديدان والحيوانات الأخرى توجد بوفرة كبيرة في معظم الصخور، وهناك صلة وثيقة بين آثار الحيوانات والحفر الناشئة عن الديدان والحيوانات الأخرى.





الفصل السادس

## العلاقات المتبادلة بين الطبقات



## الفصل السادس

### العلاقات المتبادلة بين الطبقات

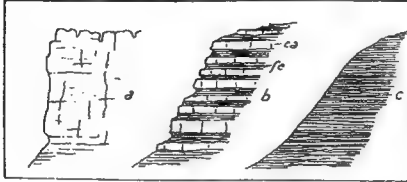
#### 1- العلاقات المتبادلة بين الطبقات.

##### I . الطبقة والتورق.

تكون الصخور الرسوبية مرتصفة دائماً على شكل طبقات، متفاوتة في وضوحها، مهما كان أصلها. وهذه الطبقات المنفصلة عن بعضها البعض بواسطة سطوح أو فصلات joints الطبقة لا تزال تسمى strates أو سافات List ولهذا يقال إن الطبقات الرسوبية متطبقة (متضفدة Stratifiedes ou litées). فالطبقة هي إذن سماكة الأرض التي تملك فرداً واضحاً وصفات صخرية (بتروغرافية) معينة.

إن صفاً أو سافاً banc كلياً هو طبقة strate، وطبقات المارن الشيستية التي تفصل بين الصفوف الكلسية المتعاقبة هي طبقات strate . ولكن الطبقة Couche هنا ليست متجانسة، لأنها مؤلفة من وريقات متعاقبة تكون جميعاً من طبيعة واحدة. ففي الحالة الأخيرة، وعندما يكون لدينا سمك كبير من الصخور الرسوبية، نستعمل غالباً عبارة litage أو تورق feuilletage، ونحتفظ بعبارة طبقة للمجموعات المؤلفة من طبقات مختلفة (مارنو- كلسية ومارن، خرسان وشيست ميكاسي أو ميكايوي micases.. إلخ). وعندئذ يتكرر تعاقب الطبقات بانتظام وعلى سماكات عظيمة أحياناً، مما يعطي الصخر مظهراً مخططاً مميزاً عندما لا تكون الطبقات سمكية جداً (مارن- كلسي نيوكومي، خرسان Taveyannaz وخرسان شامبسور.. إلخ). وعندما تكون الطبقات strate، كحالة الكلس النقي في التشكلات الرصفية، فإن الصخر يتخذ حيثئذ شكلاً متكتلاً (شكل 1).

ويمكن للطبقات أن تمتد على رقعة كبيرة جداً، خاصة عندما تكون قد تشكلت في مياه عميقة، ولكنها قد تصبح رقيقة أو تتحول إلى شكل عدسة، عندما تكون الظاهرة التي كانت تغذي الترسيب قد توقفت عن العمل.



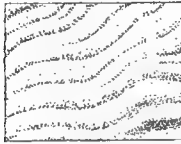
شكل 1 التطبق والتورق. A، كلس متكامل (كلس مرجاني مثلاً أورغوني) (جرف أو جدار falaise). B، مارنو-كلسي (سافات bancs أو طبقات strate كلسية، ca، مفصولة عن بعضها بطبقات متورقة Fe). (حدور عنيف الانحدار). C، مارن متورق (الحدار لطيف). تكون في الحالات الثلاث الطبقات مستمرة ومتوافقة Concordantes.

وقد يجوي سطح فصلات joints الطبكية أحياناً بوادر عدم الترتيب: وتسمى الجعدات التموجية ripple-marks أو آثار التيارات، أو الريح، أو آثار الأمواج، وتصدعات وشقوق التراجع retrait الناجمة عن التجفيف، وآثار قطرات المطر، وآثار الحيوانات، وبنية المخاريط المتداخلة cone in cone وبنية عمدية. ولا تزال الأشكال الأخيرة عبارة عن شذوذات غريبة، غير مفسرة، إذ تكون على شكل غاريط أو أعمدة صغيرة محززة تتعشق ببعضها من طبقة لأخرى bancs (شكل 2).

وتترأى الطبكية، وهي صفة أصيلة للصخور الرسوبية، بنسق نطاقي للعناصر، وباصطفاف البقايا المستحاث، وتتم فصلات الطبكية عن توقفات في الترسيب. وتكون هذه الفصلات أحياناً متموجة (مثل السافات الكلسية في طبقة Wellenkalk قاعدة الترياس الأوسط) الجرمانية، المفصولة عن بعضها بطبقات



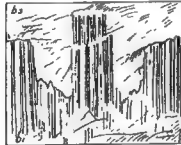
مارنية). كل هذا يدل على أن الشروط التي تنظم الترسيب في حوض ما تكون متبدلة جداً. ولو كانت هذه الشروط، على العكس، غير متبدلة، ولو كانت المواد الفلزية المجلوبة دائماً هي ذاتها، لكان تركيب التوضع متجانساً والطبقية مفقودة. وهناك أمر يظل عسير التفسير وتقصد به الترسيب الدوري، ذلك الذي أنتج تناوبات متكررة للغاية مؤلفة من سافات صغيرة مارنية-كلسية ومن مارن متورق مثلاً. ولا نزال نجهد حتى الآن تقريباً معرفة أصل التبدلات الصغرى والمتكررة في البيئة، والتي هي لا غنى عنها لشرح هذه البنية.



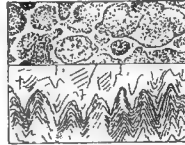
I



II



III

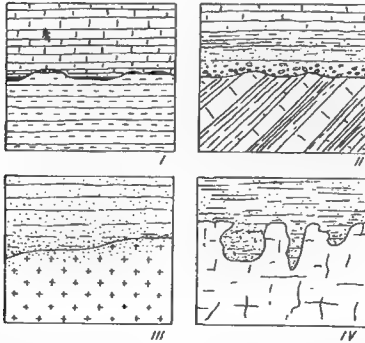


IV

شكل 2 منظر سطح الطبقات (فصلات joints). I، إشارات الجعدات التوجيهية ripple- marks (آثار الموجات أو الرياح) (حج أحمر ترياسي). II، تصدعات (شقوق التجفاف المملوءة برمل) (حج رمل ترياسي). III، ستيلوليت، عمديات (الساف الأسفل bi، وهو أكثر قساوة، تدخل في الصف الأعلى bs، فاعطى عميدات صغيرة مشققة). IV، بنية غروطة متداخلة (بالأعلى السافات، بالأسفل، مقطع) (كامبري، بجبال الأطلس الكبير بالمغرب). والشكلان الأولان مصغران جداً، بينما الشكلان الآخران بالحجم الطبيعي.

كما نجهل أيضا الزمن الذي اقتضاه تشكل سماكة معينة من الراسب. ولأول وهلة، يجب أن يكون هذا الزمن شديد التنوع وعلى علاقة بفزارة المواد؛ فيكون نسبيا قصيرا بالنسبة لتشكيل صخور حطامية أو لترسيب كيماوي، ويجب أن يكون أطول من ذلك بالنسبة لتشكيل صخور بحرية تنتج عن تراكم جزئيات معدنية دقيقة جدا عامت قبل أن تتوضع. فضلا عن ذلك، يجب أيضا أن ندخل بالحسبان الزمن الذي تستغرقه الفواصل الزمنية بين الطبقات المتعاقبة.

وهكذا نرى كم تكون عرضة للشك تلك الأرقام المطلقة عن مدة الأزمنة الجيولوجية المستندة إلى الطرائق الرسومية. إذ لم يتم الترسب بسرعات مختلفة فحسب بل، حتى بالنسبة لعصر معين، سنرى أن هذا الترسب كان متبادلا للغاية حسب المناطق. فتلك الطبقة التي يتجاوز سمكها بضعة أمتار في الحوض الباريسي تتخذ في جبال الألب أو البيرينيه سماكة تبلغ بضع مئات من الأمتار.

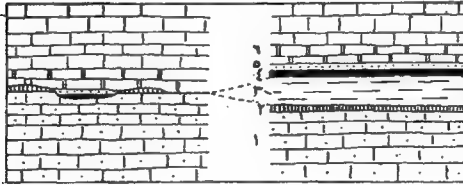


شكل 3 تنافر الطبقة أو التطبق. I، تنافر بسيط II، تنافر زاوي. III، تنافر فوق غرائيت متفسخ (بالأعلى، أركوز). IV، تنافر حاصلات التآكل في تحاويف صخر كلسي.

## II. التوافق والتنافر Concordance et discordance

عندما تكون طبقات أرض ما مرتصفة بانتظام على شكل رموز متوازية بعضها فوق البعض الآخر، يقال هناك توافق في الطبقة. وهذا يستدعي استمرار الترسيب وثبات الشروط المختلفة التي أنتجته.

ولكن قد يصدف أن تتابع الطبقات لا يكون مستمراً وأن الطبقات العليا لمجموعة تكون ملتصقة فوق سطح محرّش للطبقات السفلى. فيقال حينئذ أن هناك تنافر وهذا التنافر يمكن أن يكون بسيطاً أو زاوياً، وذلك فيما إذا كانت الطبقات السفلى موازية تقريباً للطبقات العليا (شكل 3)، أو على العكس، في اتجاه مائل جداً بالنسبة لهذه الطبقات، التي تقطعها حينئذ على شكل مشدوف en biseau. وإن تنافر ما يقتضي بالضرورة وجود انقطاع في استمرارية الترسيب؛ أي ثغرة طبقية. فبعض الطبقات، أو بعض مجموعات الطبقات التي ترسبت في أمكنة أخرى، حيثما كان الترسيب مستمراً، نفتقدتها هنا (شكل 4)



شكل 4 ثغرة طبقية زمرة ثغرية (تنافر بسيط، إلى اليسار، الطبقة رقم 3 مفقودة).  
على اليمين زمرة كاملة، مستمرة.

وتنتج هذه التنافرات أحياناً عن حركات الأرض، فتكون حينئذ جزيلة الفائدة لتأريخ التخلعات Dislocations وبالتالي تأريخ السلاسل الجبلية، لأنها تعتبر كقرينة لظواهر الالتواء الهامة أحياناً، والتي أعقبتها أدوار حثية متفاوتة في حدوثها وفي مدتها.

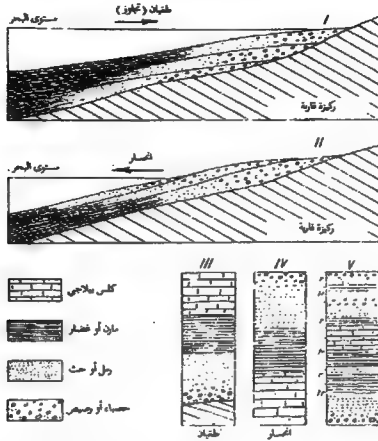
ولكن وجود ثغرة لا يستدعي بالضرورة وجود حركات تكتونية (بنائية) مصحوبة بعوم emersion، لأننا نعرف بالواقع ثغرات تسمى رسوية ناجمة إما عن انعدام الترسب في فترة معينة، وإما عن كشط طبقات موجودة بواسطة التيارات البحرية العميقة. ونمسخ الملاحظة الدقيقة لسطح السافات حيث نكشف طبقات مبرية، محمرة وأحياناً محفّرة بفعل عضويات من أكلات الوحل أو cavicoles، مما يدل على نحت تحت محتمائي بحري. ودراسة المستحاثات تؤكد من ناحية أخرى وجود هذه الثغرات.

### III. الطغيانات والانحسارات.

يقال إن الطبقة ما هي طاغية عندما تمتد على نطاق واسع فوق أساس تفصل عنه بثغرة هامة.

ويكون سطح هذا الأساس، غالباً، متصلباً، مخدّداً ومثقباً بفعل عضويات من أكلات الصخر الساحلية وتبدأ الطبقات الطاغية في أكثر الأحيان برصيص Conglomerat يحتوى على حصباء من الصخور السفلى (شكل 5). وتشير الطغيانات إلى فترة اجتياح القارات من قبل البحار، فهي تشمل إذن سطحاً عظيماً وتستدعي بالضرورة خفساً تدريجياً اعترى الأراضي العائمة. ودراسة الوحشيات، التي تكون هنا مختلفة جداً، وهي التي توضح سعة الثغرة ومداهها.

وتطلق عبارة الانحسار على ظاهرة معاكسة؛ وتكون طبقة ما منحصرة عن السابقة عندما تكون أقل اتساعاً منها. وتتألف الزمر المنحصرة من توضعات متناقصة العمق تشهد على نهوض عام للركائز القارية.



شكل 5 الطفيان والانحسار. I، مخطط لطفىان. II، مخطط انحسار. III، مقطع لزمرة طاغية. IV، مقطع لزمرة منحسرة. V، تعاقب طفيانات وانحسارات في زمرة مقعدة (دورة رسوبية).

## 2- تحديد أعمار الطبقات.

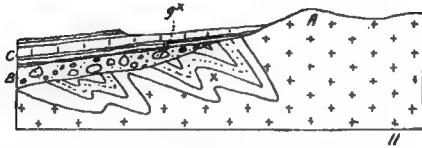
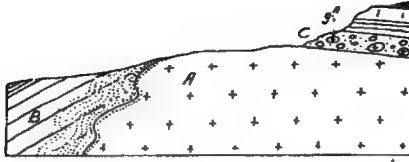
لا يمكن التكلم هنا إلا عن عمر نسبي، لأننا إذا كنا قد استطعنا، بالنسبة للصخور الاندفاعية، الكلام عن عمر مطلق، فإن الأمر يندر أن يكون ممكناً بالنسبة للصخور الرسوبية.

وهذا العمر يمكن تحديده بواسطة فحص بسيط لتعاقب الطبقات، حسب مبدأ واضح، هو مبدأ التفضيد Superposition الذي يمكن أن يفسر على الصورة التالية: إذا كان نظام التوضّع عادياً؛ أي لم يتعرض للاضطراب بحركات أرضية، فإن طبقة معينة تكون سابقة للتي تمتطيها، وسابقة للتي تقع تحتها.

وهكذا نقيم ما يمكن تسميته مقطعاً عملياً. وفي أبسط الحالات، يضم مقطع كهذا تعاقباً من طبقات معروفة جيداً ومن طبيعة صخرية مختلفة: حث، كلس، مارن مثلاً. والتعاقبات من هذا النوع هي التي استطاعت في بادئ الأمر أن تلفت أنظار أوائل الباحثين والتي لا يزال المتقبون والعاملون في المجال يلاحظونها. وعندما تكون الطبقات حاوية على مستحاثات، فإن التقاط المستحاثات، التي تختلف غالباً من طبقة لأخرى (وقد يمكن العثور على مستحاثات مميزة)، يضيف إلى الحجة الليتولوجية الحجة الاستحاثية لتمييز الطبقات. وتكون هذه الحجة مفيدة جداً عندما نكون أمام تعاقب من طبقات متماثلة جميعاً ومتوافقة، وذات بنية متورقة، مثلاً: فتمييز الانقطاعات يكون هنا استحاثياً فقط. ولكن في هذا الحالة، لا تختلف المستحاثات كثيراً عن بعضها بين طبقة وأخرى لأن الوحيش قد تطور على الغالب عملياً.

أما في حالة طبقات متنافرة، فهناك تضاد جلي بين زمرتين من الطبقات، كما يكون الوحيش في الزمرة السفلى دائماً مختلفاً جداً عن وحيش الزمرة العليا الطاغية. وسنرى بالفعل أن عودة البحر تكون مصحوبة على العموم بتجدد في الوحشيات (فونا).

حالة فريدة: عمر زمر اندفاعية ومتبلورة تورقية: عندما نكون تجاه كتلة غرانيتية مندسة في زمرة رسوبية، وأدت إلى تحولها، فالمسألة تقتضي معرفة عمر استقرار الباتوليت في مكانه (شكل 6، 1). ويعطي عمر أحدث الطبقات، الحاوية على المستحاثات، التي أصابت التحول، الحد الأدنى للاستقرار، لأن الغرانيت أحدث من هذا الرسوبي، وأن عمر أقدم أرض تحتوي على حصباء من الغرانيت المذكور تعطي حداً أعلى فعمر الغرانيت يكون منحصراً إذن بين هذين الحدين.



شكل (6) عمر زمرة متبلورة I ، تحديد عمر كتلة غرانيتية ، إن عمر الغرانيت A ينحصر بين عمر أحدث الأراضي (R) الذي عمل على استحاتها (الحد الأدنى) وبين عمر الرصيص (C) الذي يحتوي منها على حصباوات (gA) (الحد الأعلى) .

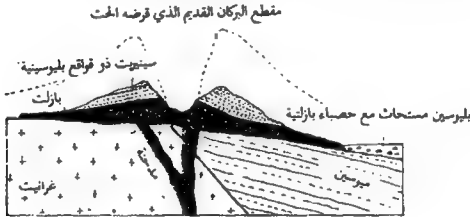
II ، تحديد عمر مركب تورقي (X): لقد أمكن تحديد ( وهذا ليس دائماً سهلاً) أن X تعود للديفوني الذي تحول بواسطة الاستحالة، غير أن الأرض B، التي تعود للكاربوني فيري الأعلى، تضم حصباء من X (g X) وتتسبب الاستحالة العامة إذن إلى عمر كاربوني فيري أسفل أو أوسط.

ولكن لا يكون دائماً من الميسر الحصول على تأريخات دقيقة جداً في أكثر الأحيان الاكتفاء بعمر تقريبي.

أما بالنسبة للمركبات المتبلورة الورقية Cristallophylliens ، فالمسألة مزدوجة، إذ يجب أولاً تحديد عمر الرسوبات التي أصبحت متبلورة، ثم عمر التحول. ولا يمكن حل النقطة الأولى إلا باكتشاف مستحاثات في أقل الصخور

المتبلورة الورقية تحولاً، أو التعرف على الانتقال التدريجي لصخور رسوبية مؤرخة جيداً، وإن حالات كهذه هي نادرة جداً ولكنها موجودة. ولتحديد عمر الاستحالة، تتخذ الطريقة التي اتبعت بالنسبة للكتل الغرانيتية، أي يجب اكتشاف حصباء من الزمرة المعينة. وأحياناً لا يمكن حل أي من هاتين المسألتين فلا يمكن تحديد المركبات الاستحالية إلا تقريباً، عن طريق موقعها بجوار تشكيلات ذات عمر معروف.

أما فيما يتعلق بالصخور المتدفقة (شكل 7) فمن الواضح أن عرقاً من البازلت مثلاً يكون أحدث من الصخر الذي يخترقه وأقدم من كل صخر يستره أو يحتوي على حصباء من هذا البركان، وفضلاً عن ذلك فإن عرقاً مُصاليباً هو أحدث من عرق مُصالب. كما يستتج عمر مسكوبة coulee ما من عمر الرسوبات التي تقدمت من فوقها أو من التي تغطيها.



شكل 7 تحديد عمر الصخور البركانية.

يعود البركان هنا للبليوسين الأعلى (نموذج براكين الكتلة المركزية).

طبقة الصخور المتبلورة التورقية: لا يمكن استعادة تصور الطبقة القديمة وإثباتها في مركب صخري متورق إلا في حالات نادرة بسيطة. وفي أغلب الأحيان، يجب أن تقتصر على البحث عن موضع التورق، وهي صفة ظاهرة دائماً والتي تحمل محل طبقة الأراضي الرسوبية، وكذلك الحال في نطاقات الاستحالة المتساوية isometamorphisme. ومستقام هذه النطاقات بدراسة



تجمعات الفلزات minéraux حسب غروينمان ولكن بالنسبة لبعض المناطق لا تؤلف الزمر التقليدية على شكل نطاقات لهذا المؤلف وهي فوق epi، أوسط meso، وتحت cata، أقول لا تؤلف مجموعات جيولوجية واضحة جيدا لذا وجب تبني سلما آخر للفلزات. ولهذا ميز العالمان M. Roques و J.Jung الكتلة المركزية الفرنسية من الأسفل للأعلى، ابتداء من الميغماتيت (صخور شيست متبلورة محقونة بغرانيت): نطاق الغنايس أو النطاق الصفاحي (الفلدسباتي) وينقسم ذاته إلى غنايس أسفل متميز بوجود فريد ليكا سوداء وغنايس أعلى حيث توجد الميكا السوداء إلى جانب الميكا البيضاء. نطاق الميكاشيست أو النطاق الكوارتزي التورقي وينقسم إلى ميكاشيست سفلي مع نوعي الميكا المتجمعتين والميكاشيست العليا حيث لا نجد سوى ميكا بيضاء مع بعض الكلوريت وبعض السيريست Sericite. ونلاحظ أمرا هاما هو أن جبهة الميغماتيت تختلف باستمرار من الشمال إلى الجنوب، وهكذا نجد في الجنوب، في منطقة سيفين والجبل الأسود، أن هذه الجبهة تقع في الميكاشيست الأعلى، وفي منطقة رويرغ Rouergue، نجدها تهبط في الميكاشيست الأدنى، بينما تبلغ الغنايس الأعلى في مناطق ليموزان، كانتال، ومنطقة ليون، وإلى الشمال من ليموج وبريود Brioude وفي منطقة شارولية Charolais تظل الجبهة، كما في أقصى شمال الكتلة (مورفان)، في الغنايس السفلي. وقد أمكن تطبيق هذا التصنيف بنجاح في جبال الفوج.

### 3- توائمت Synchronisme الطبقات أو التزامتها.

من الأهمية بمكان مقارنة مقاطع عملي ومحاولة إجراء مقارنة بين طبقاتهما لصنع ما يسمى بالتوائقات أو التزامات. وبالواقع كثيرا ما تكون علاقات التاريخ متماثلة لأن المقاطع المتجاورة مؤلفة من طبقات متشابهة بكل دقة.

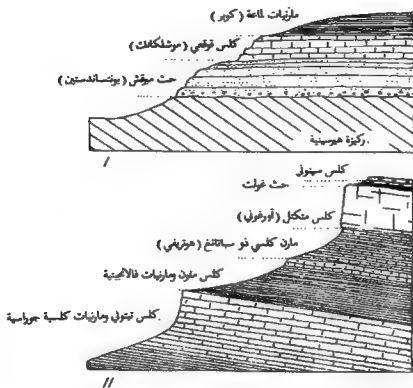
ولكن لا يمكن أن نعتد فحسب على الارتفاع النسب للطبقات للحصول على توائقات. ورغم أن الطبقات من نفس العمر فإنها كانت متوضعة بالأصل حسب مستويات أفقية، فلا تكون طبقة ما دائما في امتداد الأخرى، لأن هذه

الطبقات استمراراً محدوداً، كما أن وجود كسور مصحوبة بتفاوتات في المستوى ممكن دائماً. ويكون هذا المبدأ أحياناً مغلوطاً حتى في المناطق ذات البنية المائدية حيث ظلت الطبقات أفقية، ولكن خاصة بالنسبة للحقيات الرباعية، ولا سيما بالنسبة للطبقات المرتصفة على شكل مصاطب، لأن أقدم الطبقات هنا، تكون على العكس، في الأعلى.

وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار هذه الملاحظات، وبعد فحص بسيط لتعاقب مقاطع عملي، نستطيع حينئذ إقامة مقطع إقليمي هو بمثابة مفتاح طبقي لمنطقة ما. وهكذا لاحظ الجيولوجيون القدامى، في جبال الفوج وفي اللورين (شكل II،8)، أن أوائل الأراضي الأفقية التي تغطي بشكل متنافر طبقات الحقب الأول المتصبة، كانت تضم دائماً ثلاث فئات هي من الأعلى للأسفل: صخوراً مارنية حمراء جسيمة وملحية (كوير)، وكلساً فوقياً (موشلكالك) وصخوراً حثية (رملية) مبرقشة (Butsandstein) ومنها اسم اشتق اسم ترياس الذي أطلق على هذا المجموع الذي يصادف، دون تغير كبير، في قسم كبير من أوروبا. كما لوحظ في الحوض الباريسي أيضاً وجود ثلاثة مستويات رملية منفصلة عن بعضها بطبقات كلسية أو غضارية: وهي الرمال السفلى، والوسطى، والعليا. أما في الجبال شبه الألبية في مقاطعتي الدوفينة والسافوا فإن تناوبات الحدودرات talus والجروف falaises الناجمة عن اختلافات في قساوة الطبقات هي التي أدهشت أوائل الباحثين (شكل II،8) كما يمكن تكرار الأمثلة في هذا المضمار.

وهكذا فإن الاهتمامات الليتولوجية، أو بعبارة أخرى طبيعة الطبقات المتعاقبة والموجودة دائماً في الترتيب نفسه، على مستويات كبيرة، سمحت، خلال زمن طويل، وعند تطبيق مبدأ آخر يسمى مبدأ الاستمرارية، بvنعن توافقات لحد ما. وكان يمكن تخمين أن طبقات من التركيب نفسه كان يجب أن يكون لها العمر ذاته وكان هناك، بالتالي، نوع من استمرار في الترسيب.

غير أن هذا الزعم على غاية من الخطأ، لأننا نعرف الآن أن طبقات من العمر نفسه يمكنها أن تظهر تحت مشاهد شديدة الاختلاف وأن مبدأ الاستمرارية هو دائماً على خطأ.



شكل 8 مثالين عن مقطعين إقليميين.

I، تراس الفوج واللورين. II، الحافة شبه الألبية (جوراسي وكرتاسي).  
والواقع هو أن استمرار الطبقات قد يدخل عليه الاضطراب بفعل الحث أولاً، ثم بفعل الاستحالة، ولكن خاصة بواسطة حوادث الطغيان وتبدلات السحن (شكل 9).

#### الطغيات

لقد رأينا أن زمرة ما تكون طاغية عندما تمتد على نطاق واسع فوق أساس substratum تكون منفصلة عنه بثغرة هامة. إنها إذن عبارة عن رسوبات توضع من قبل بحر اجتاحت تدريجياً سطحاً قارياً كبيراً نوعاً ما. ويكون سطح

هذا الأساس مخدداً أحياناً وتبدأ الطبقات الطاغية عموماً بواسطة صخر رصيص. ولكن بما أن الرصيص الأساسي ينم عن حافة البحر المجتاح، فإن هذا الرصيص لا يكون دائماً من العمر نفسه، مع أنه يحتفظ في كل مكان بالمشهد ذاته. وينطبق الأمر نفسه على الطبقات الأخرى، ويمكن القول إنه، في زمرة كذا، لا تكون الطبقات التي من نفس الطبيعة الليتولوجية متوافقة بـل دقة وتكون مقطوعة بشكل مائل بواسطة نطاقات من العمر نفسه (طوابق). وهكذا نجد في النموليقي الألي أن الساف الكلسي نفسه يمكن أن يكون لوتيسياً في نقطة ما، بينما تكون بريابوني Priabonien في نقطة أخرى (شكل 9، I).

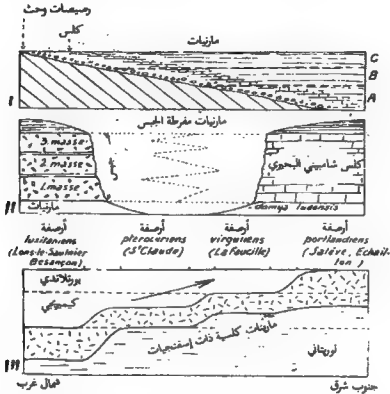
#### المسحّن Facies

تطلق عبارة سحنة على مجموع الشرائط الجغرافية والبيولوجية المحلية التي حددت الطبيعة الليتولوجية لتوضع ما، وكذلك الأمر بالنسبة للتجمعات الحيوانية والنباتية التي يحتويها هذا التوضع. وقد كان للبحار القديمة، مثل بحارنا، لاغوناتها (مخاريطها الساحلية)، وسواحلها، وأرصفتها المرجانية، وأغوارها الكبيرة، كما كان فوق القارات حيثئذ أنهار، وبحيرات، وصحاري... إلخ. أعطيت توضعات مختلفة، ولكنها معاصرة، متميزة بمسحّنات خاصة بهذه السحن. فيقال كان هناك سحن ساحلية، مرجانية، لاغونية، عميقة، بحيرية، صحراوية... إلخ.

غير أن السحن قد تعترى سلسلة من طبقات في الزمان أو في المكان، أو بأن واحد في المكان والزمان.

لنكرر مثالنا عن الترياس: فالفحص المتعمق والمقارن للطبقات الثلاث التي تؤلفه يُظهر لنا أن الحث المبرقش الأساسي هو عبارة عن رمال قديمة كتابية متصلة (حبات كوارتز مدورة وغير مصقولة، طبقة متصالبة)، وأن الصخور الكلسية الموجودة فوق الحث هي توضعات بحرية قوقعية (نيريتية، قواقع بحرية)، وأخيراً تكون الغضاريات الحمراء الحثامية عبارة عن رسوبات قديمة لاغونية (جيس وملح صخري). ويُستنتج من ذلك أنه كانت هناك قارة صحراوية

تعرضت تدريجياً لاجتياح على شكل طغيان بحري، ثم تبخر هذا البحر تدريجياً محلياً وتحول إلى بحيرات ساحلية (لاغونات). ولدينا إذن مثال جميل عن تعاقب مظاهر مختلفة جداً في الزمان.



شكل 9 تحديد توقيت الطبقات. I، استمرار الطبقات المضطرب بفعل طغيان (السحن تكون مائلة بالنسبة للطوابق A, B, C). II، تبدل السحن في المكان: الانتقال من جيس مونتمارتر إلى ترافيرتان شامبيني في وادي المارن. III، تبدلات السحن في الزمان: هجرة أرضفة مدخات في جوراسي جبال الجورا الفرنسية (م. جينيو). ولكن تبدلات كهذه في السحنة يمكنها أن تحصل في المكان؛ أي في فترة معينة من تاريخ الأرض. وهكذا نجد في الحوض الباريسي أن جيس مونتمارتر اللودي يتحول إلى كلس شامبيني البحيري في وادي المارن (شكل 9, II).

وقد استطاع العالم هيبير Hebert عند ملاحظته للطبقات التي تتداخل فيها تشكيلات مختلفة السحنة، أقول استطاع منذ عام 1860 أن يحدد توقيتها. والواقع هو أن صخور الجبس الباريسية وصخر كلس شامبيني تكون جميعا محصورة بين

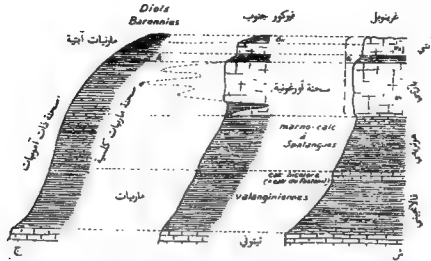
مستويات معروفة جيداً، هي صخور المارن ذات *Pholasomya Ludensis* بالأساس، وصخور المارن الفوق جبسية في الأعلى. وقد أمكن إثبات ذلك التكافؤ مباشرة أثناء حفر قتال المارن الجانيية، قرب شاليفير *Chalifert*، حيث برزت السحنتان وهما متداخلتان ببعضهما البعض من دون غموض. إذن، في هذه الحالة، تسمح الطريقة الطبقيّة القائمة على استمرار الطبقات الحاضنة *encaissantes* بتحديد تواقط طبقة ما تبدلت مساحتها؛ ويجب أيضاً أن يكون الترسيب بالضرورة مستمراً في كلتا الزمرتين المقارنتين.

ولكن يجب أن نعترف أن حالات كهذه تكون نادرة نوعاً ما وفي أكثر الأحيان، تضاف إلى تبدلات السحنة في المكان تبدلات في الزمان؛ أي أن السحن تصعد حيثند بشكل مائل في زمرة الطوابق الجيولوجية.

وهناك مثلاً، عن تطور السحن الرصيفية خلال الجوراسي الأعلى والكريتاسي، مثلاًن يوضحان لنا هذه النقطة.

ففي الزمان الذي لم تكن تبدلات السحن قد دخلت بعد في المجال الجيولوجي المألوف، كان العلماء يقبلون بأن الصخور الكلسية السميكة الرصيفية التي تندمج في الجوراسي العائد للحافة الشرقية للحوض الباريسي، بين الأوكسفوردي والكريتاسي، كانت كلها من العمر ذاته وتمثل طابقاً مرجانياً *Coralline*. وفي كل مكان تظهر فيه مثل هذه الصخور الكلسية، وذلك إلى الجنوب من تلك المنطقة، وعلى الأخص في السافوا وبجوار غرينوبل، كان يقال عنها إنها عبارة عن الطابق المرجاني *Corallien*. وفيما بعد، وبوقت متأخر، أدرك الجيولوجيون بعد مناقشات حادة، أنهم تجاه سحنة لم تكن من نفس العمر في كل الأمكنة، وأنها تزدد حداثه كلما اتجهنا نحو الجنوب (شكل 9، III). وهكذا أصبح مفهوم أن الأرصفة هي لوديتانية عند *Saint-Claude* و *Lons-le-Saunier* وكميرجية في منطقة *Saint-Claude* و *la Faucillon*، وأخيراً تصبح بورتلاندية عند *Saleve*، و *Chambery* وعند *Echaillon* قرب غرينوبل. وقد نتجت هجرة المدخات (بوليات) جنوباً عن تعديلات مناخية وعن تفرّد نطاق استوائيّ حار.

هذا ويكون تاريخ الأورغوني، وهو تشكل رصيفي متدخل في الكريتاسي الأسفل، عائلاً (شكل 10). ومع أنه يمثل آلب السافوا في البرتغال، من حيث الصفات التكتولوجية نفسها، فإن عمره يكون متبدلاً؛ فهو بازيمى وآبشي أسفل في السلاسل شبه الألبية بالمنطقة الدوفينية والسافوية وقسم من البروفانس، ويطابق الأبشي في جبال البيرينيه (كلس أورغوني - أبشي) وحتى الألبى Albien في شبه جزيرة إيبيريا. ومن المفيد أن نذكر كيف حددت توافقات هذا الأورغوني مع الطوابق التقليدية المتميزة بنطاقات الأمونيات؛ أي بمستحاثات تملك قيمة تاريخية مستقلة عن السحن. ففي جنوب مدينة غرينويل نشاهد انتقالاً جانبياً من الجحروف الأورغونية العائدة لمنطقة Vercors نحو الصخور المارنية الكلسية لمنطقة Diois. والأساس الأقصى للأورغوني، المؤلف من صخور كلسية صفراء، يشتمل هنا على أنواع Hoplites الموجودة في الطبقات الانقالية من البازيمى إلى الهوتريفي. والطبقة السفلى ذات Orbitolines التي تظهر في الثلث العلوي من الأورغوني (الكتلة الأورغونية السفلى) بازيمية. وأخيراً فلإن الأورغوني، الذي يقع فوق الطبقة السفلى ذات Orbitolines (الكتلة الأورغونية العليا) يكون نفسه مغطى بطبقة عليا ذات Orbitolines تضم، في منطقة Vercors، أمونيات تعود للأبشي الأسفل وتتحول في منطقة Diois إلى صخور مارنية آبشية. وهكذا نجد أن السحنة الرصيفية الأورغونية تقابل بالتالي، في أوروبا الغربية، البازيمى والأبشي الأسفل.



شكل 10 تبدلات السحن في الكريتاسي الأسفل، في جنوب شرق فرنسا. الانتقال من الزمرة البحرية الساحلية (النيريتية neritique) في ضواحي غرينوبل (طوابق ليتولوجية) إلى الزمرة العميقة للحفرة vocontienne (مارن وكلس ومارن) حيث لا تكون الطوابق محددة بنطاقات الأمونيات. O، طبقة ذات أوريتولين سفلى، o، طبقة ذات أوريتولين عليا. Ui، كتلة أورغونية سفلى. Us، كتلة أورغونية عليا. J، مارن ذو Heteroceras.

وهكذا نرى أن مبدأ الاستمرارية لا قيمة له إلا إذا قبلنا بتبدلات السحنة وأن تدخل علم المستحاثات الطبقي يكون هنا أمراً لا محيد عنه.

وفي كثير من الحالات، وحيثما يكون استمرار الطبقات مفقوداً، تصبح الدراسة المتعمقة للمستحاثات هي وحدها التي تسمح بتحديد توافقات على مسافة طويلة، ولقد رأينا أن الـ Craptolithes وثلاثيات الفصوص بالنسبة للحقب الأول، والأمونيات بالنسبة للحقب الثاني، والفقاريات بالنسبة للثالث، تستطيع خاصة، في هذا الحالة، أن تقدم خدمات جلى.

ولكننا نعلم أن بعض مستحاثات السحنة يمكن أن تستخدم أيضاً لعمل انقطاعات في النطاقات: مثل المدخات والنباتات بالنسبة للحقب الأول، والروديست Rudistes بالنسبة للحقب الثاني، وكبار المنخرات (فلسيات، Orbitoides) بالنسبة للثالثي. ويمكن للتكافؤ بين سلام مستحاثات السحنة هذه



وبين السلام التقليدية للمستحاثات المميزة، يمكن تطبيقه حيثما في مناطق تشابهك السحن التي تسمح باكتشاف مستويات شاهدة جيدة وحيث تكون هذه المستحاثات فيها مغلطة (مثال تداخلات intercalations بحرية في الوستفالي ذو النباتات في شمالي فرنسا وتداخلات طبقات رأسيات الأرجل في سحن قوقعية أو رصيفية، طبقات بحرية تفصل طبقات بحرية ذات فلسيات... إلخ).

#### 4- الطباقية والتكتونيك.

من العسير على عالم طبقي (ستراتيغرافي) مهتم بالتركيب ألا يكون عالماً تكتونياً، لأنه، كما سنرى بعد قليل، أن حركات الأرض (التي تولف دراستها علم التكتونيك) هي التي تؤدي إلى الطغيات والانحسارات البحرية وتنظيم توزع وتراكم الرسوبات<sup>(1)</sup>. لهذا نعتقد أنه من المفيد الإلحاح منذ الآن على العلاقات المتبادلة بين هذين الفرعين من الجيولوجيا.

يقود التاريخ الجيولوجي للأرض، إلى بناء وتهديم السلاسل الجبلية المتعاقبة. ويشتمل كل من دورات هذا التطور، الذي يشغل فاصلاً زمنياً عظيماً، يشتمل على مرحلة تحضير رسوبية تعقبها مرحلة التوائية رئيسية. ولكن حركات الأرض تستطيع أن تتدخل باكراً جداً، خلال المرحلة الرسوبية، وتكون المرحلة الالتوائية مصحوبة دائماً بحث شديد يفتح المرحلة الرسوبية للدورة التالية. وهكذا انتصبت بضع سلاسل على سطح الكرة الأرضية، كالسلسلة الهورونية، وهي أقدمها (سابقة للكامبرية)، والسلسلة الديفونية (قبل ديفونية)، والسلسلة الهيرسينية (كاربونية) وأخيراً السلسلة الألبية، وهي أحدث هذه السلاسل، والتي وقعت في آخر الحقب الثالث.

غير أن لدن التحضير الرسوبي لكل دورة، تكون الجغرافية القديمة تحت هيمنة عنصرين أساسيين هما الرقع القارية، وهي حجرات Compartiments صلبة

(1) وهذا ما سمح لنا سابقاً بفهم سبب كون نطاقات السحن تكون في أغلب الأحيان مطابقة للنطاقات التكتونية.



المروحية الانفراشية *epandage*، وكل الصخور التي تنتج عن ظواهر التفكك (بطحاء أو آرين *arene*، أركوز) أو عن التآكل *decalcification* (تربة حمراء، غضاريات متبقية ذات صوان، رمال وغضاريات نارية، لآثيريت، بوكسيت، طف... إلخ). وهذه الزمر القارية تتميز بتنوعها الكبير، وبقلة ثخانتها وبلونها الأحمر أحياناً (أكسيد الحديد).

أما النطاقات الهامشية للرقع القارية، التي يحتلها بحر ضحل يتكوى على القارة وغني بالعضويات وتحترقه تيارات عديدة (عتبة قارية) فإنها ستكون مقر ترسب بحري ضحل وغني بالحيوانات، قليل السماكة، ولكن على غاية من التنوع. فائق الحركات التي تعترى القشرة (كتذبذب عمودي للقارات، التواء المقعرات الأرضية المؤدية إلى طفح محتواها). تؤدي في هذه النطاقات، إلى اجتياحات بحرية أو على العكس إلى المحسارات، مما يتج عنه وجود ثغرات طبقية عديدة.

#### ب- مناطق المقعرات الأرضية.

إنها عبارة عن أحاديث واسعة ذات قاع متحرك ومرن ترجم عندها الجهود التكتونية، على العكس، بالتواءات حقيقية، ومنذ وقت باكر جداً، انبعثت منها تجهيزات واسعة أو طيات جبارة مركبة *Geanticlinaux*، تطفو أحياناً على شكل سباحات من الجزر المتطاولة (وتسمى حيثئذ كورديلير *Cordilleres*) تتمدد فيها بينها حفرات من مقعرات أرضية بكل معنى الكلمة، وهي مقر ترسب ناشط (شكل 12).

وفوق السطح الخارجي للحفرة، الملتصق بالرقعة القارية، تأتي لتكدس، على شكل حذور *talus* كل أنقاض القارة المنقولة بواسطة الأنهار والتي تقتلعها الأمواج كي تتوزع أخيراً لما وراء النطاق الجاور للقارة بفعل التيارات تحت البحرية. وإلى 'فخاخ' الرسوبات هذه، وهي نوع من أحواض فوق قارية *epicontinentaux* انكباسية، يعطى اسم مقدمات الحفر *avant-fosses*، حيث تتكدس الرسوبات الأرضية المنشأ والفقيرة بالعضويات وذات السحنة البحرية *facies bathyal*. وعلى مسافة منها؛ أي في عرض البحر، ليكون قاع الحفرة

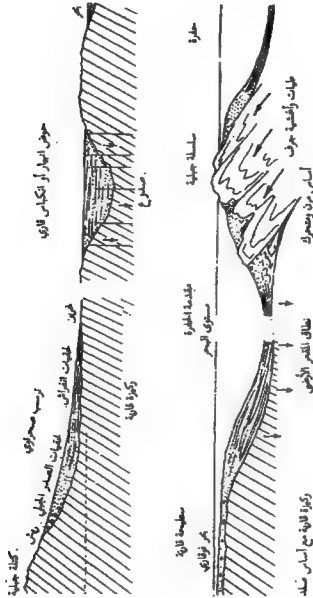
مفروشاً بتوضعات دقيقة بحرية (بيلاجية) (وحول حاوية على فصيلة الغلويجيرين أو الشعاعيات) التي تتلاحم مع الحافة المتصبية للكورديلير بواسطة نطاق من رسوبات عضوية المنشأة أو حطامية، وذلك حسبما تكون هذه الكورديلير مغمورة أو على العكس عائمة. ويتج عن ذلك كون الترسب في مستوى الكورديلير، أحياناً، متميزاً بوجود ثغرات، وصخور بريش (بريش الانهيار)، فضلاً عن لون أحمر ناجم عن التشكلات الحديدية الصخرية التي تتشكل فيها أثناء مراحل العوم، ومن ناحية أخرى لا يكون هذا الترسب سميكاً جداً أبداً، حتى ولا في خلال مراحل العمر.

وفيما وراء مقدمة الحفرة وأول كورديلير يأتي مجال الحفرة الكبرى الجيوسنكلينالية التي قد يكون قاعها غير الثابت مضرباً بمحذبات جبارة جديدة. وتحمل محل البريس الهامشية والترسب النيرقي بسرعة زمر سميكة أرضية الأصل وعميقة بمجوار الحدود talus ذات مستحاثات نادرة، ومؤلفة خاصة من وحول رملية نوعاً ما لا يظهر فوقها سوى دروب الديدان ومعديات الأرجل.

من الواضح أنه لا يمكن تفسير رتابة المظهر وثنائية هذه الزمر الجيوسنكلينالية، إلا بانخفاض تدريجي لقاع الحفرة الذي يحتفظ بعمق ثابت يحميها من الردم. ولكن توقف حركة التعمق سيؤدي بسرعة إلى الردم.

وهكذا فإن الفترة الختامية من تاريخ مقعر أرضي ما؛ أي الفترة التي تسبق المرحلة التكتونية المحتمدة، تكون متصفة بترسب ناشط جداً، ترسب ردمي حقيقي، يتخذ حيثنذ صفة غير متجانسة واضحة: فتناوب فيه صخور الشيست، والحث (الغريه) مع عدسات سميكة من الرصيصات، ويكون الجميع خالياً عادة من المستحاثات (باستثناء الآثار العضوية). ويطلق على هذه المركبات complexes السميكة، المتكررة إلى ما لا نهاية وحيث يكون كل تقسيم مستحيلاً، اسم ألفليش Flysch في جبال الألب. ويكون للسلاسل القديمة فليشياً أيضاً، وهكذا يكون ما يسمى كولم Culm الكاربونييري في جبال الفوج والكتلة المركزية

هو عبارة عن فليش السلسلة الهيرسينية التي تصادف زمر مقدمة الحفرة في منطقة الأردن.



شكل 12 مخطط نظري يظهر مختلف نماذج الزمر الرسوبية (عن جينيو). بالأعلى زمر رسوبية قارية (صحراوية وانكباسية). بالأسفل زمر رسوبية بحرية (رسوبات فوق قارية نيريتية، ترسب مقدمة الحفرة، ترسب في مقعر أرضي مع كورديلير... إلخ).

ويجب أن نلاحظ أن هذه الزمر الجيوسنكلينالية السمكية، الملتوية بعنف، تتناقص بغرابة مع زميلتها الزمر فوق القارية، الهادئة دائماً، الرقيقة والمتنوعة. ويزداد هذا التباين شدة عندما تتدخل، أثناء تعمق الحفرة المفرط، الاستحالة العامة التي شوهت دائماً الرسوبات التي تتكدس في الحفرة.

وبغية تثبيت الأفكار، نأخذ مثلاً على ذلك هو السلسلة الألبية، وهي نموذج ممتاز لسلسلة جيوسنكلينالية. وإجمالاً نستطيع تمثيل النطاق فوق القاري بالنسبة لفرنسا بمشارف avant-Pays الكتلة المركزية وجبال الفوج. إنها السلاسل شبه الألبية للنطاق الخارجي، مع تشكيلاتها النيريتية وصخور المارنو-كلسية الثخينة، والتي تمثل ترسب مقدمة الحفرة. ونصادف الترسب الجيوسنكلينالي في النطاق الداخلي مع تشكيلات الكورديلير البريانسونية briançonnaises وحفرها المردومة بالغليش والرسوبات التي أصبحت استحالية في نطاق ألشيسست للماغ Lustrès الذي تم تولده في الحفرة الكبرى الألبية.

##### 5- التراكيب الطبقي (الستراتيغرافية).

إن القيام بعمل تركيب طبقي يعني دمج المعطيات السابقة لاستعادة تمثيل الجغرافية القديمة للأرض (الباليوجرافية) في المكان، وفي مختلف العصور، ثم في الزمان.

وكل تركيب، لكي يكون مقبولاً، يجب أن يكون متناسقاً ولا يشتمل على تناقضات: فيجب أن يستطيع أن ينسرد على شكل فيلم. والجيولوجي عندما يقارن المقاطع الإقليمية يذل عناية فائقة، بالبدء، في سبيل تحديد التواقات، ولدراسة النطاقات ذات السحنة الواحدة التي تؤدي إلى رسم نطاقات السحن المتكافئة أو نطاقات isopiques، وذلك بالنسبة لكل عصر.

ومثل هذا الجهد يمكن، بالنسبة لكل فترة من تاريخ الأرض، رسم الحدود الخاصة للقارات والبحار، وبالنسبة للقارات ترسم مع بحيراتها وصحاريها ولاغوناتها وحفرها الانكباسية، وبالنسبة للثانية ترسم مع سواحلها، ونطاقاتها فوق القارية والجيوسنكلينالية. ومستضم الرسوبات المتواقة حسب الوحدات

الكبرى للجغرافية القديمة عما يساعد على تكوين فكرة واضحة عن مشهد مجموع الأرض في العصر المقصود.

وبعدئذ يمكن التعرف على الجغرافية القديمة المقارنة في الزمان وذلك بمحاولة ربط تمثيلاتنا المتعاقبة لها ببعضها بصورة نحصل معها على تركيب بدرجة أعلى تعبر، من دون تعثر، عن تطور وجه الأرض خلال الأعمار الجيولوجية. وهذا ما سيقودنا إلى تبيان التناورات *dicordances* وأهمية الطغيانات والانحسارات، والثغرات التي سبقتها أو تلتها مستنديين إلى قانون هوغ *Haug* الذي يرى أن كل انحسار في منطقة مقعرة *synclinal* يكون معوضاً بطغيان فوق رقعة قارية والعكس بالعكس.

هذا وسيكون تحليلنا حقاً عبارة عن تعاقب منسجم لجغرافيات متأخذة (م. جينيو)، وذلك على شكل فيلم، أصبح أسلوباً حقيقياً للتحقيق، نستطيع بواسطته عرض الاستمرار بين تمثيلاتنا *reconstitutins* في الفراغ، ووجود أحواض كبيرة ذات نوع من الاستمرار والتي تقدم أطرافها لوحدها حركية لا تهدأ. وهكذا نرى أن التاريخ الكلي للترسب ليس أكثر من تعاقب لدورات رسوبية بحرية تجري في هذه الأحواض. ويتبدى كل من هذه الدورات بطغيان بطيء، كي ينتهي بانحسار أكثر سرعة على الغالب.

فإذا كان الترسب مستمراً في وسط الحوض، فإن التذبذبات البحرية قد تركت، على العكس، أكثر آثارها وضوحاً على السواحل، إذ تظهر هنا الدورات المختلفة منفصلة عن بعضها بثغرات أو بتشكلات قارية. وهكذا تكون كل دورة معينة قابلة لطابق جيولوجي، وستكون قيمة طابق ما، كما عرفناه من وجهة النظر الجغرافية القديمة، كبيرة كلما كانت الدورة، التي تقابله، تحتل مجالاً أكثر اتساعاً.

وتوافق المعطيات الباليوثنتولوجية، على العموم، مع هذا التعرف الباليوجغرافي للطابق.

هذا وتحصل التعديلات الجغرافية الكبرى، بالواقع، في مطلع وفي آخر كل دورة، وهي التي تسمح بتجدد العوالم الحيوانية، لأن البحر الطاغى يجلب عادة

معه وحشاً جديداً، وفي خلال الانحسار، تسهل المساحات الأرضية الواسعة هجرات الحيوانات والنباتات. وهكذا أمكن تعريف وتحديد العصر ومعنى هجرات الثدييات أثناء العصر الثالث.

كما أمكن إثبات وجود، خلال الأزمنة الجيولوجية، أقاليم حيوانية Zoologiques حقيقية، ماثلة لأقاليمنا الحالية. وقد سبق أن رأينا أن ترسيين من نفس السحنة والعمر يضمّان المستحاثات المميزة ذاتها، ولكن قد يصدف أن ترسيين معاصرين تقريباً ومتماثلين من حيث السحنة قد يتميزان بمستحاثات مختلفة. ويعود ذلك إلى تدخل شروط جغرافية عامة سببت تفرد شخصية كل إقليم. وواجب الاختصاصي أن يقرر فيما إذا كان هذان الإقليمان من أصل مناخي (إن الشروط الجغرافية في مصب كل من نهر الإيسكو والرون متماثلة لكن العالمين الحيوانيين فيهما مختلفان) أو فيما إذا كانا ناتجين عن حادثات عزل جغرافي (يؤلف المحيط الأطلسي حالياً حاجزا يستحيل اجتيازه بالنسبة لبعض الحيوانات، حاجزا لم يكن موجودا في الكريتاسي وفي الثلاثي حيث كانت الوحشيات متشابهة، كما كان برزخ السويس، قبل حفر القناة، يفصل وحشين مختلفين).

فمثلاً، خلال الكاريونفير والبرمو- ترياس، كانت أمريكا وأفريقيا الجنوبية، وشبه الجزيرة الهندية وأستراليا متحدة لتؤلف قارة واسعة، هي قارة غوندوانا، التي كان نبيتها ووحيشها، المختلفين عن نبيت ووحيش قارة شمال الأطلسي، كانا ناتجين عن مناخ أشد قساوة (وجود فترات جودية في تلك العصور).

وفي خلال الجوراسي الأعلى والكريتاسي كان هناك أيضاً إقليمان، إقليم شمالي وإقليم رومي (البحر الأبيض المتوسط) حار يتميز كل منهما بنطاق آمونيات مختلف عن الآخر. وفي هذه الفترة أيضاً قامت بعض العضويات الاستعمارية، مثل المدخات، بمباشرة هجرة نحو الجنوب بعد أن تفرد نطاق استوائي أكثر حرارة.



ويدو تاريخ الثدييات مختلفاً تماماً حسبما نواجهه في أمريكا الشمالية أو في أمريكا الجنوبية، لأن هاتين الكتلتين، المتصلتين حالياً ببرزخ ضيق، كانتا منفصلتين خلال القسم الأعظم والحبب الثالث بواسطة حاجز محيطي. إن مفهوم الطابق الجيولوجي، كما فهمناه الآن، هو أكثر قبولاً وإدراكاً بما لا يقاس، مما تصوره الجيولوجيون القدامى المنشغلين خاصة بالمشهد الليتولوجي. إن طابقاً جيولوجياً ما هو إلا عبارة عن مشهد حقيقي، شطر من تاريخ الأرض، شطر متفرد جيداً بصفاته الجغرافية القديمة، والباليتوتولوجية والمناخية.

### قائمة التقسيمات الكبرى للأزمنة الجيولوجية

الأحقاب	المتطومات	الطوابق
الرباعي (الرابعي) (Anthropozoique) آنتروبوزوي	هولوسين (الحجري الحديث)	الفلاتنري
	بليستوسين (الحجري القديم)	تيريفي
		صقيلي
		كالابري (فيللافانشي)
الثلاثي (الثالثي) (Cenozoique)	بليوسين	آستي
		بليزانشي
		ساحلي (بونقي)
	ميوسين	فيندوبوني
		بورديغالي
	أوليغوسين	أكيتاني
		شائي
		ستامي
		سانوازي
	إيوسين	لودي
		بارتوني
		لوتيسي
		إيرييسي
		سيارناسي

- 190 -

الطوابق هيتاليجي رشي	المنطومات	الأحقاب
كوبر موشلكالك حث مرقش	ترياس	
زشتين أو تورالجي ماكسوني أوتوني	البرمي	الأول (الباليوزوي) (Paleozoique)
فحمي Houiller (ستيفاني) (وستفالي) دينانتي (كولم)	الكاربونيفير (الفحمي)	
فامتي فراسني جيفتي إيفيلي غويلنسي جيديتي داونتوني	ديفوني	
غولندي أوردوفيسي	سيلوري	
بوتسدامي أكادي جيوورجي	كامبري	
	ما تحت الكامبري infracambrien ما قبل الكامبري (ألفونكي) آركي	

الطوائف	المنطومات	الأحقاب
	القشرة البدائية؟	



الفصل السابع

## جغرافية القبة السماوية



## الفصل السابع

### جغرافية القبة السماوية

#### معالم القبة السماوية

- ملاحظة 1- الجرم الذي يعد مركز القبة للإنسان هو: الأرض.
- ملاحظة 2- تدور الأرض حول محورها: من الغرب إلى الشرق.
- ملاحظة 3- إن حركة القبة السماوية تظهر على الأرض: من الشرق إلى الغرب.
- علل: حركة القبة السماوية بالنسبة للأرض حركة ظاهرية وليست حقيقية.
- ذلك لأن الأرض فعلياً هي التي تتحرك وتدور حول نفسها من الغرب إلى الشرق بين أجرام سماوية ثابتة الموقع، تظهر لنا من موقعنا على الأرض وكأنها تدور من حولنا من الشرق إلى الغرب.
- علل: حدد العلماء معالم بارزة ومواضع مرجعية لتحديد معالم القبة السماوية.

ذلك حتى يتفق العلماء على تحديد الأجرام السماوية فتستخدم في تحديدها على القبة السماوية.

#### 1. السميت والنظير.

- عرف السميت: هو النقطة الواقعة على القبة السماوية وتكون عمودية فوق رأس الإنسان وهو واقف.
- عرف النظير: هي النقطة الواقعة على القبة السماوية المقابلة للسميت عمودياً أسفل قدمي الإنسان.

ملاحظة: الخط الواصل بين السميت والنظير يمر دائماً في مركز الأرض.

## 2. القطبان السماويان:

- عرف القطب الشمالي السماوي: هي النقطة الواقعة على القبة السماوية على امتداد الخط الواصل بين مركز الأرض والقطب الشمالي للأرض.
- عرف القطب الجنوبي: هي النقطة الواقعة على القبة السماوية على امتداد الخط الواصل بين مركز الأرض والقطب الجنوبي للأرض.
- ملاحظة 1- ينطبق السمّ والنظير مع القطبان السماويان لشخص يقف: في القطب الجنوبي أو يمكن أن يكون القطب الشمالي.
- ملاحظة 2- يتعامد السمّ والنظير لراصد القطبين السماويين: على خط الاستواء.

## 3. دائرة الأفق:

- عرّفها. هي الدائرة العظمى على القبة السماوية تبعد عن السمّ والنظير مسافة زاوية 90 درجة.
- علل: لا يشاهد الراصد الفلكي دائرة الأفق.
- ذلك بسبب انحناء سطح الأرض الكروي.
- ملاحظة: الذي لا يشاهد الإنسان (الراصد): دائرة الأفق.
- ما الفرق بين الأفق الظاهري والحقيقي؟
- الأفق الظاهري يكون دائماً أعلى من الأفق الحقيقي (أو بالعكس) يعني أن الأفق دائماً أسفل من الأفق الظاهري.
- ملاحظة: الأفق الظاهري يوازي الأفق الحقيقي.

## 4. دائرة الزوال:

- عرّفها. هي الدائرة العظمى على سطح القبة السماوية التي تمر بالقطب الشمالي السماوي والسمّ والمنطقة الشمالية من الأفق، وتمر كذلك بالقطب الجنوبي السماوي والنظير والمنطقة الجنوبية من الأفق.



ملاحظة 1- إن دائرة الأفق تتعامد مع: الخط الواصل بين السمّ والنظير ودائرة الزوال.

ملاحظة 2- إن دائرة الزوال توازي: الخط الواصل بين القطبين السماويين والخط الواصل بين السمّ والنظير.

- وضع أهمية دائرة الزوال للراصد:

1. تحدد وقت منتصف النهار حين تمر الشمس في دائرة الزوال أي بعد 12 ساعة تمر الشمس في دائرة الزوال ولكن أسفل الأفق.
2. يحدد منتصف الليل بعد 12 ساعة من غروب الشمس.

5. دائرة استواء السماء:

عرفها. هي الدائرة العظمى على سطح القبة السماوية وتميل 90 درجة من القطبين السماويين (دائرة خط الاستواء).

من أين تنتج دائرة استواء السماء وكيف تقسم الأرض؟

هي ناتجة من امتداد مستوى دائرة السماء مع دائرة استواء الأرض (مستوى دائرة الاستواء الأرضي مع القبة السماوية) وتقسم الأرض إلى نصفين شمالي وجنوبي.

6. دائرة الساعة:

عرفها. هي الدائرة العظمى على سطح القبة السماوية التي تمر بالجرم السماوي (المراد رصده) وبالقطبين السماويين الشمالي، الجنوبي.

7. دائرة البروج:

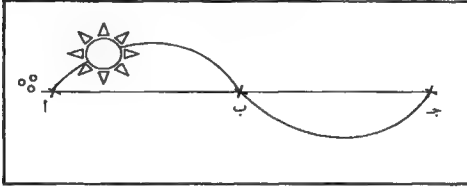
عرفها. هي الدائرة العظمى التي تصنعها الشمس في حركتها الظاهرية حول الأرض على قبة السماء في أثناء سنة كاملة.

الشكل البياني الشمس الظاهرية بالنسبة للرصد (دائرة البروج):

أ. نقطة الاعتدال الربيعي.

ب. منطقة الاعتدال الخريفي.

ج. منطقة الاعتدال الربيعي.



شكل (1)

ملاحظة 1- الزاوية بين مستوى دائرة البروج ومستوى دائرة استواء السماء مقدارها 23.5

ملاحظة 2- تعرف نقاط تقاطع دائرة البروج مع دائرة استواء المساء ب: الاعتدال الربيعي والخريفي.

ملاحظة 3- الزاوية بين مستوى دائرة البروج مع القطبين السماويين مقدارها 66.5.

تحديد نقطة الشرق الجغرافية الحقيقي:

هل موقع الشمس ثابت أم متغير أثناء الشروق والغروب وإن كان متغيراً فكيف يتغير؟

1. موقع شروق الشمس متغير طول السنة.

2. شتاءً تبتعد نحو الجنوب الشرقي الحقيقي.

3. صيفاً تبتعد نحو شمال نقطة الشرق الحقيقية.

- في أي الأيام تشرق الشمس، تغرب من موقعها الحقيقي؟

في يومي الاعتدال الربيعي والخريفي.

- كيف يمكنك تحديد موقع الشرق بدقة؟

1. بتحديد مكان شروق الشمس في أحد يومي الاعتدال الربيعي الخريفي أو الخريفي.

2. باستخدام بوصلة معزولة تماماً عن أي مواد جديدة.

- كيف تبدو حركة النجوم الظاهرية في القبة السماوية.

1. لراصد موجود في القطب الشمالي: تكون الحركة الظاهرية للأجرام السماوية حركة دائرية بشكل أفقي متعامدة مع المحور الذي يصل بين السم والنظير.

2. لراصد موجود في أعلى خط الاستواء شمالاً: تكون يضاوية الشكل ولكن أقرب إلى الدائرة.

3. لراصد موجود عند خط الاستواء: يكون يضاوياً تماماً.

4. لراصد موجود أسفل خط الاستواء جنوباً: تكون يضاوية ولكن أقرب إلى الدائرة.

### الإحداثيات السماوية الاستوائية:

- عرف خط الطول: هو البعد الزاوي للموقع شرقاً أو غرباً مقيساً بواسطة الدرجات وأجزائها.

- عرف خط العرض: هو البعد الزاوي لذلك الموقع شمالاً أو جنوباً من خط الاستواء الأرضي مقيساً بالدرجات وأجزائها.

- عرف خط غريتش: هو خط وهمي يمر بالقطين الشمالي والجنوبي وبقرية غريتش قرب لندن.

- وضع طريقة التقسيم لخطي الطول والعرض بناءً على الساعات؟

كل 360 درجة ← 24 ساعة.

؟ ← 1 ساعة

كل درجة يقابلها  $360/24 = 15$  خمس ساعات 5/1

القاعدة: كل ساعة تقابلها 15 درجة.

- إذا كانت الساعة عند خط غريتش (عند خط طول = صفر) الواحدة ليلاً، وكانت الساعة في الأردن هي الرابعة فجراً. فكم يكون خط الطول للأردن تقريباً.

الحل:

موقع الأردن: كل ساعة ← 15 درجة

3 ساعات ← ؟

$$9 = 15 \times 3 = 45 \text{ درجة شرق غريتش.}$$

- إذا كانت الساعة في الأردن 11.30 وهي تقع على خط طول 45 درجة، كان خط الطول لمدينة نيويورك هو 75 درجة غرب غريتش.

كم الساعة تكون في نيويورك؟

الحل:

$8 = 15 / 120$ ساعات (تأخير عن الأردن) $11.30 - 8 = 3.30$ فجراً وهو الحل.	كل ساعة ← 15 درجة. $120 = (75 + 45) \leftarrow ?$
--	--

- عرف ميل جرم سماوي: هو بعد ذلك الجرم السماوي عن دائرة استواء السماء مقيساً بالدرجات وأجزائها ومروراً بدائرة الساعة الجرم أي (مثل خط العرض).

- عرف الصعود المستقيم للجرم السماوي: هو البعد الزاوي بين الدائرة المارة في القطبين السماويين والجرم السماوي (دائرة الساعة) والخط الواصل بين الأرض ونقطة الاعتدال الربيعي مقيساً بالساعة وأجزائها (خط الطول).

- نجم، الصعود المستقيم له هو 40 درجة. قام الراصد برصده تماماً. وبعد مضي 4 ساعات رصد نجماً آخر عند نفس النقطة. ما الصعود المستقيم لهذا النجم؟

الحل:

1 ساعة ← 15

4 ساعات ← ؟

؟  $60 = \leftarrow$  الصعود المستقيم له  $= 40 + 60 = 100$  درجة.

ملاحظة: إذا كان الصعود المستقيم لنجم أكثر من 180 فإننا نطرح الزاوية من 180 درجة، لكي نحصل على الصعود المستقيم الصحيح.

- وضح المقصود بالكوكبات: هي مجموعة نجوم تظهر في قبة السماء على شكل معين وهي موجودة في جميع الاتجاهات.

- علل: تبقى أشكال الكوكبات ثابتة عبر بضع مئات السنين.

إن حركة النجوم على القبة السماوية بطيء جداً إلى درجة يحتاج فيه النجم لآلاف السنين كي يغير موقعه، بالتالي فإن أشكال الكوكبات يبقى ثابتاً تقريباً عبر مئات من السنين.

- علل: نرى النجوم في السماء متخذة شكلاً معيناً مع أنها بعيدة عن بعضها البعض.

لأن إسقاطات مواقع النجوم الثلاثية الأبعاد على سطح القبة السماوية تبدو كما لو كانت قريبة من بعضها فتتخذ شكلاً معيناً.

- علل: أشكال الكوكبات عبر ثابت ويتغير عبر آلاف السنين.

ذلك لأن الكوكبة النجمية لا تكون بالضرورة قريبة من بعضها وليست مرتبطة بالضرورة جدياً من بعضها البعض، وحيث أن لكل نجم حركة خاصة به فإنه لا توجد حركة مشتركة لكل نجوم الكوكبة النجمية لذلك تتغير مع الزمن الطويل.

ملاحظة: إن النجوم المكونة لكوكبة نجمية لا تكون بالضرورة قريبة من بعضها وليست مرتبطة بالضرورة جدياً ببعضها بعضاً فهي قد تكون بعيدة عن بعضها في الفضاء الفسيح، ولكن إسقاطات مواقعها الثلاثية الأبعاد على سطح قبة السماء يبدو كما لو كانت قريبة من بعضها.

نقطة الاعتدال الربيعي: عرفها. هي نقطة تقاطع دائرة البروج مع دائرة استواء السماء والتي تشرق الشمس فيها من الشرق الحقيقي.





الفصل الثامن

## النبيت والوحيش





## الفصل الثامن

### النبيت والوحيش

#### 1. النبيت والوحيش في العصر الأول:

لم يتطور العالم النباتي خلال الكامبري أبداً وظل مائياً. فقد تكاثرت بعض الطحالب *algues* الدنيا، كما أدت ترصعاتها (ستروماتوليت) إلى تشكيل كتل هامة من الصخور الكلسية. غير أن العالم الحيواني تكامل ويمكن القول أن الإطارات الكبرى للتصنيف وجدت منذ ذلك العصر. وبالتالي يبدو أن الطور الرئيسى؛ أي الطور المسؤول عن تميز وتفرد هذه المجموعات الكبرى، قد تحقق قبل الكامبري، وربما خلال ما قبل الكامبري.

ومن جهة النظر التطبيقية، فإن معظم المجموعات الحيوانية، وكلها بحرية، كانت ممثلة فيه بواسطة أشكال لا تحوي على كبير أهمية، كذلك الأمر بالنسبة للمنخربات، والإسفنجيات، والمدوسات، وشوكيات الجلد (مثنائيات، زينقانيات) وصفيحيات الغلاصم، ومعديات الأرجل والديدان. غير أن بعض المكامن تمتاز بجودة حفظ مستحاثاتها. تلك هي حالة مكمين بورجس *Burgess* الشهير في انكلترا، حيث أشار العالم والكوت إلى وجود ديدان وقثائيات البحر التي تكون أقسامها الرخوة مصانة بأدق تفاصيل تركيبها.

غير أن هناك ثلاث مجموعات تأخذ فيها أهمية تطبيقية كبيرة وهي: *Archaeocyathides* وعضديات القدم وثلاثيات الفصوص. فالأولى هي أشكال خداعة، تُضم حالياً للإسفنجيات، وكانت تعيش على شكل مستعمرات وقد كانت أرضيتها تستوطن بحار الكامبري الأدنى والأوسط في العالم قاطبة: وتكون

الصخور الكلسية ذات Archaeocythus هي بالأساس صخور مميزة لهذه العصور.

أما عضديات الأرجل الكامبرية فتعتبر أكثر المجموعة بدائية وتتسبب إلى عديمات المفاصل inarticulates. وتتألف من Lingules ومن Obolus والتي يعثر عليها بكثرة في بعض التشكلات الصخرية الرملية الساحلية.

أما ثلاثيات الفصوص فإن دورها التطبيقي يبدو هنا، ومنذ ظهورها الخيزير، مكان الصدارة. فكثير منها يكون كامبرياً خالصاً. تلك هي أجناس Olenellus (بوتسدامي)، Paradoxites (أكاديّة)، Olenus (جيورجي)، Sao، Ellipsocephalus، Dikelocephalus، Conocoryphe (إهليلجيات الرأس)، Agnostus و Ogygia التي دامت أيضاً في السيلوري.

بعض الأجناس استخدمت لتمييز الطوابق وكثيراً منها تعرف نطاقات استحاثة، وخاصة في اسكتلندا، حيث أمكن إقامة 15 نطاقاً عثر عليه جزئياً في انكلترا، وفي أمريكا الشمالية. وقد سمحت بعض الأجناس بتوضيح مقاطعات مناخية في الكامبري. ولنذكر أخيراً ظهور بعض القشريات مثل أوائل الجبابرة في أمريكا، في سحن بحرية.

وفي السيلوري، اجتاز التثبيت خطوة للأمام، ومع أنه لا يزال غير معروف تماماً، فإنه يسمح بالافتراض بأن خفيات الإلقاح الوعائية ظهرت فيه. ويظهر أن الهجرة العابرة؛ أي انتقال النباتات البحرية إلى الحياة الأرضية عن طريق التوازم التدريجي، لدى كل المجموعات الكبرى من الكائنات البحرية. لذا استعاضى إذن، ابتداءً من هذا العصر، سرد كل المجموعات المثلثة وسنكتفي بذكر تلك التي قدمت مستحاثات مميزة.

ويجب أن نذكر، من بين اللافتقاريات الدنيا، المدخات Polypiers المثلثة بواسطة المرجانيات الرباعية (Cyathophyllum، Zaphrentis) التي تتسبب للحقب الأول حصراً، واللاحشويات Alcyonaires والمائدليات Tabules (Favosites، Halysites) وأخيراً الـ Stomatoporoidea. وكل معاليت الجوف

هذه، التي تعتبر أكثريتها كمستحاثات جيدة، هي من ناحية أخرى، بناءاً أرصفة مرجانية وساهمت بتشكيل الصخور الكلسية في كل أجزاء الكرة الأرضية، لأن توزيع الأرصفة كان في ذلك العصر مستقلاً عن الشرائط المناخية. وأجل الأرصفة السيلورية هي الموجودة في جزيرة غوتلند بالسويد (غوتلندي).

وهناك معاليات جوف أخرى، أكثر أهمية أيضاً، هي الغرابتوليت Graptolithes، التي تثقب عيدانها الصغيرة المسننة، بواسطة أنقاضها، السحن الشيستية السيلورية. ويمكن القول إن هذه هي عبارة عن مستحاثات سيلورية حقيقية. وبما أنها تخص الأعماق البحرية، لذا سيكون توزيعها الجغرافي كبيراً وبما أن تبدلاتها قد تعاقبت بسرعة كبيرة جداً في الزمن، لذا فتعتبر مستحاثات ممتازة على الصعيد النطاقي: وهكذا أمكن تحديد 15 نطاقاً في الأوردوفيسي و 16 في سكانيا، كما أمكن العثور على كثير منها في باقي أوروبا وحتى في أمريكا وأستراليا. وتظهر ابتداءً من قاعدة السيلوري (الأوردوفيسي) وهي أشكال خاصة نوعاً ما، من شبكيات reticules وأشباه الشجريات (Diplograptus) dendroides، ثم تظهر في باقي الأوردوفيسي أشكال تحمل أسناناً صغيرة (Loges) على طرفي المحور (Diplograptus)، ونماذج يتصف محورها بالتشعب (Didymograptus)، أو مسطح (Phyllograptus). أما الأشكال البسيطة التخطيطية، فلا تصادف إلا في السيلوري الأعلى (غوتلندي) (Monograptus).

ومن بين شوكيات الجلد، انتشرت الزنبقيات بشكل كثيف، وبرايري الزنبقيات هي التي تقع في قاعدة الكلس ذي الأنتروك الذي يُعثر عليها فيه.

أضف إلى ذلك المائيات (Echinosphaerites) تكون نامية جداً في هذه الفترة وخاصة في السيلوري الأعلى، ولكن أحيوانات (فتغديات) Oursins، فرغم وجودها، لم تكن قد وصلت بعد إلى توسعها.

وقد تكاثرت مجموعة عضديات الأرجل في السيلوري وأعطت الكثير من الأنواع المميزة وخاصة من أجناس Petamerus, Atrypa, Obolus, orthis, chonetes, Spirifer, Conchidium الخ، أما اللغولات فتعتبر على

الغالب مستحاثات سحنة. وينطبق الأمر نفسه بالنسبة لبداية ثلاثية الفصوص، كما أمكن تحديد نطاقات استحاثية عديدة استناداً إلى أنواع من جنس *Trimucleus*، بالنسبة للسيلوري الأسفل. هذا وتملك أجناس سيلورية خاصة الالتصاف حول ذاتها مثل *Phaeops*, *Asaphus*, *Calymene*، كما بلغ أحجاماً كبيرة جداً مثل *Asaphus*, *Iliaenus* مثلاً. وكان معظمها من الحفريات وتصادف في السحن الشيستية ولكن عثر على بعض منها، مع ذلك، في السحن الساحلية مثل صخور الحث والصخور الكلسية. وعلى كل تشير نهاية السيلوري إلى تقهقر واضح في مجموعة ثلاثية الفصوص مع استمرار الجيابرة أو العقرييات.

ومن بين الرخويات يستخدم نوع واحد من ذوات المصراعين في التطبيق وهي *Cardiacinterrupta*، والتي تكثر في الصخور الكلسية الغوتلندية ولكن رأسيات الأرجل انتشرت كثيراً في صخور هذا العصر وبلغت فيه ذورتها مع ظهور *Nautiloides* (*Lituites*, *Cyrtoceras*, *Orthoceras*... الخ). بينما ظهرت فيه أشباه الأمونيات بكشل متواضع مع جنس *Agoniatites*، وهو حد الـ *Goniatites*، كما أن معديات الأرجل لا تتمثل في هذا العصر، كمستحاث قابل للاستخدام، سوى جنس *Conularia*.

وأخيراً ظهرت في السيلوري الأعلى أوائل الأسماك وهي أشكال مصفحة بدائية جداً تنسب إلى جنس قوقعيات الجلد.

ولا زالت الحياة تتكاثر في الديفوني ونحن مضطرون أن نختار من بين الأشكال المستحاثية، أكثرها أهمية من الناحية الطبقة أو تلك التي لعبت دوراً في تشييد الرسوبات. وقد استأنفت مجموعة عديدات الأرجل تطورها فكانت ممثلة بواسطة المرجانيات الرباعية، التي تستخدم بعض أجناسها كدليل تطقي مثل *Calceola* مع النوع التقليدي *Calceola sandalina* في الإيفيلي *Eifelien*. هذا وتضم الـ *Tabules* (من الجوفمعويات) أيضاً بعض الأنواع المميزة مثل: *Pleurodictyum Problematicum* المحصورة في الكوبلنزي. أضف إلى ذلك الغرابتوليت، باستثناء بعض أشكال أشباه الشجريات.

وإذا كانت القنغذيات (الأخينوسيات) Oursins والمائيات والبرغمانيات، وهي جميعاً في شوكيات الجلد، قد تعرضت إلى تناقص؛ فإننا نرى أن الزنبقيات ظلت دائماً مهيمنة وبرزت منها النجميات Asterides. ونجد هنا معظمك أجناس عضديات الأرجل السيلورية ولكنها تكون ممثلة بواسطة أنواع مختلفة ومميزة وخاصة من بين Spirifers. وهناك جنسان وهما Stringocephalus وuncites يعتبران خاصين بالتشكلات الرصفية الديفونية.

وتستحق الرخويات إشارة خاصة. فإذا كانت صفيحيات الغلاصم ومعلبات الأرجل لا تضم أشكالاً هامة فإن رأسيات الأرجل قد شهدت نمواً باهواً في ذلك العصر. ولم تعد نجد Orthoceres حقيقة، كما أن الـ Nautiloides لم تعد ممثلة إلا بأشكال خصوصية جداً مستقيمة (Phragmoceras, Gomphoceras)، ومقوسة (Cyrtoceras) أو حتى ملتفة (Gyroceras). كما أخذت أشباه الأمونيات بالانتشار ابتداءً من الديفوني الأوسط، بحيث استخدم الأشكال البحرية الملساء منها، مثل Goniatites، في إقامة النطاقات الاستحاثية. ومن بين الأجناس البديعة من الـ Goniatites نذكر Anarcestes, Agoniatites و Parodiceras من الديفوني الأسفل والأوسط و Gephyroceras في الديفوني الأعلى (أن نوع G.intumescens هو مستحاث تطلق عالمي). وهناك أشكال أخرى مثل Clymenies تميز خاصة الغامني Famennien الأعلى في أوروبا.

ويبدأ المخطاط ثلاثية الفصوص مع الديفوني: غير أن فصيلة واحدة ظلت سائدة هي عائلة Phacopides (Phacops, Dalmanites). وجنس واحد يعتبر حقاً مميزاً للديفوني، وهو جنس Cryphaeus. ولكن هناك قشريات أخرى أخذت تنتشر فجأة وهي أشكال جبارة ظهرت في الكامبري وتنسب إلى فصيلة عمارات الجبابرة (Eurypterus و Pterygotus) متميزة جداً هنا بمظاهر لاغونية لصخور (الحث الأحمر القديم) أو على شكل Ostracodes دقيقة (Entomis, Cypridina) التي تكاثرت جداً في بعض السحن الشستية لقمة الديفوني.

وتمثل الفقاريات أسماكاً مدرعة (Cephalaspis, Pteraspis) التي تشكل استمراراً للأشكال مصفحات الجلد Placodermes السيلورية والتي تميز بدورها (الحث Sandstone الأحمر القديم)، و Selaciens (سمك القرش)، وأخيراً اللامعات (Holoptychius) Ganoides.

وهناك أمر هام تجدر الإشارة إليه من وجهة النظر إلى العالم النباتي، وهو ظهور ابتداء من الديفوني الأسفل، نباتات ذات نسيج وعائي أصيل، وهي Psilophytales وأوائلها تعتبر بدائية جداً (جنس Psilophyton)، ولكنها تظهر بأن واحد في أمريكا وفي أوروبا، ثم تأتي في الديفوني الأوسط لتشارك معها خفيات إلقاح أخرى عديدة مستنقعية في مكنين شهيرين هما في Rhynie (إيقوسيا) وفي البرفلد (بروسيا الرينانية) (Asteroxylon, Hornea, Rhynia)، Cladoxylon, Hyenia... إلخ). وفي آخر الديفوني تكامل النبات أيضاً بانضمام نماذج أرقى في التنظيم مثل فصيلة أوائل المفصليات Proto-articulées (أجداد Calamariées الكاربونيفيرية)، و asteroxylacees، وبعض أشكال بدائية من السرخسيات (Paleopteridales) و Lycopodiales، بحيث أن كل شيء كان مهياً للانتشار المقبل للنبات، الكثر التنوع والكثافة، للعصر البرموكاربونيفيري الكبير.

والواقع هو أن هذا النبات البرموكاربونيفيري هو أفضل أمثاله معرفة بفضل المكانن الفحمية الوفيرة التي أوجدها ويفضل الخدمات التي قدمها لعلم التطبيق (14 نطاقاً من النبات تنتسب إلى الفحمي Houiller البحث) أي إلى طابقين هما الوستغالي والستيفاني (نسبة إلى سانت اتيان في فرنسا). وقد كان هذا النبات شديد التنوع، وكل شيء يدل على أنه بلغ درجة خارقة من الكثافة. ويعرف منه على الخصوص فئات مستنقعية، لأن هذه النباتات هي التي ساهمت، بالأساس، في تشكل الفحم الحجري، وهي Lycopodiales شجرية (Lepidodendrons و sigillaires)، وأشجار ضخمة بلغ ارتفاعها 25م وحتى 30م، مجتمعة مع Equisetales شاسعة (Calamariées) التي انبثقت من بساط

نباتي عشي مائي مؤلف من فصيلة Sphenophylles، ومن Lycopodes ومن Selaginelles. وإلى جانب هذه القيعان المستنقعية كان يعيش على المرتفعات المجاورة نبيت أكثر جفافاً كانت عناصره الرئيسة مؤلفة من سرخسيات بدائية Sphenopteridees, Pecopterides, Paleopteridales) ومن خفيات إلحاق قديمة جداً Pteridospermees أو ((السرخسيات ذات البذور)) (Alethopteris)، Lonchopteris، Callipteridium، Neuropteris، Linopteris، Odonpterris، Mixoneura، Mariopteris... إلخ) وال Cordaitales التي تستر أنقاضها صخور الفحم في سانت ايتان.

وقد نتج عن النهوض النهائي للسلسلة الميرسينية في نصف الكرة الشمالي، خلال البرمي، ذلك النهوض الذي عدل بشكل عميق البيئات الطبيعية، نتج عنه اتجاه جديد للنبيت وأدى إلى الحطاط معظم المجموعات الأنفة الذكر (Cordaitales, Sphenophyllales, Sigillaries) والسرخسيات ذات البذور) وإلى انطفاء ال Paleopteridales وال Lepidodendrons. وعلى كل ظهر فيه سرخسية بذرية Pteridospermees وحيدة بشكل كيشف وهي جنس Callipteris و جنس Walchia مماثلة إلى Araucarias الحالية (وهي من صف المخروطيات التي تنبت بالشيلي وأستراليا) وهي المثلة الوحيدة للمخروطيات في تلك الفترة.

أما في نصف الكرة الشمالي فقد كان ذلك الانتقال أقل وضوحاً، إذ كان هناك مجال قارة غوندوانا المتميزة بنبيتها الخاصة من السرخسيات: Glossopteris و gengamopteris والذي يغطي الكاربونيفير والبرموترياس والذي يعزى وجوده لمناخ أكثر برودة ناجم عن توسع الجموديات. ونجد هذا النبيت مع تعديل بسيط في سيبيريا وفي روسيا الأوروبية (قارة أنغارا).

وهذا ويضم الوحيش البرموكاربونيفيري، نماذج بحرية وبحيرية قارية. ومن بين الفئة الأولى نجد مجموعة المتخربات التي كانت أشكال جبارة، منتشرة بشكل غزير وتستخدم عادة في تطبيق التشكلات البحرية في ذلك العصر وتتألف غالباً من شعيريات في السحنات الحيوانية البرية ومن Schwagerines في السحن البحرية.

ونجد خلال الكاربونيفيري (الفحمي) الأدنى (ديناني) أرصفة من المرجانيات الرباعية (*Dibunophyllum*, *Cyathaxonia*, *Amplexus*, *Zaphrentis*، *Syringotheris*... إلخ) مجتمعة مع بعض *Tabules* و *stromatoporoides*. ويستند تطبيق الديناني ذاته في انكلترا في معظمه، على نطاقات المدخات. ومن بين القنفذيات (الأخينوسات) نجد أن *Palechinides* هي المتفوقة، كما أن بعض الزنبقيات تساهم أيضاً في تشكل الكلس ذو الـ *entrouques*، وإذا كانت المثانيات قد بادت فإن البرعمانيات هي التي ستبدرها في آخر الحقب الأول وكانت في هذه الفترة؛ أي الديناني، في أوج انتشارها.

ونذكر من بين عضديات الأرجل فصيلة *Productiodes* (جنس *Productus*) التي قدمت أفضل الأنواع المستعملة في التطبيق. ويتميز جنس من الحزازيات الحيوانية، وهو جنس *Fenestella*، بطبقاته الرقيقة الرصفية التي شكلها في الديناني، ويجمع فيها أحياناً مع *Chaetetides*. وهنا نشاهد نهاية ثلاثيات الفصوص التي اقتصرت على جنسين هما *Phillipsia* و *Griffithites* استمرت منها واحدة حتى البرمي. وأخيراً ننوه بشدة انتشار الحشرات، بأشكال عملاقة، وخاصة أوائل مستقيمات الأجنحة وأوائل زوجيات الأجنحة. كما كانت بعض أجناس القشريات القارية (*Leaia*, *Estheria*) تستوطن البحيرات الساحلية المالحة (اللاغونات) منذ العصر الكاربونيفيري.

وتنتسب صفيحيات الغلاصم بصورة خاصة إلى أجناس بحرية *Schizodus* و *Posidonomya* ولكن هناك أشكالاً بحرية مثل *Anthracosia*, *Anthracomya* و *Naiadites* تقدم بعض أنواع مميزة. وتكون معديات القدم غالباً من أنواع بحرية تنتسب إلى جنسي *Euomphalus* و *bellerophon*. ومن بين الرخويات تكون مجموعة رأسيات الأرجل هي التي تستمر في احتلال المقام الأول مع أشباه الأمونيات، التي أمكن إقامة عدة نطاقات منها من أجل تطبيق الكاربونيفير. وأكثر الأجناس في البرمي وحل محلها مجموعات أخرى هي: *Prolecanitides*, *Medlictitides* و *ceratitides*.



أما من ناحية الفقاريات، فإن الزواحف قد انتشرت بواسطة مجموعتين من Prosauriens (الحراذين) البرمية وخاصة من الحوتيات Theromorphes، وهي حيوانات كبيرة القامة، ذات أشكال غريبة أحياناً وذات توازنات مختلفة استوطنت قارة غونوانا خلال البروموترياس (Labidasaurus، Pareiasaurus، Dicyrodon، Naosaurus، Dimetrodon... إلخ). كما أن البرمائيات كانت أيضاً ممثلة بنماذج كبيرة الحجم، اختفت كلياً، وهي فصيلة مسقفيات الرأس Stegocephales. وهذه تعرف خاصة عن طريق سرفاتها المجهزة بغلاصم خارجية Branchiosaurus، Pnotriton) وتكثر في طبقات الفحم الحجري في كومنتري (ستيفاني) وفي الشيسيت البيومي في أوتون (برمي). وهناك (Archegosaurus) أخرى ذات قامة أكبر ومفترسة.

ولا زالت الأسماك ممثلة بأشكال عضروفية مثل: فصيلة كلاب البحر (سمك القرش)، Genoides، ومزدوجات التنفس Dipneustes (أسماك تنفس بغلاصم وبرتين).

### النبات والوحيش في العصر الثاني:

إن معارفنا عن الوحيش والنبات البحري والأرضي للترياس على أحسن ما يرام، لأنه هنا أيضاً، تكثر رسوبات السحن المختلفة خلال هذه الفترة.

وليس هناك أمر هام يجدر التنويه به بالنسبة للبروزيات Protozoaires. وتكون الإسفنجيات ممثلة خاصة بواسطة مجموعة ساحلية من إسفنج كلسي وخاصة في التيرول (مكمن سان كاسيان). وتظهر المرجانيات السداسية لأول مرة في الأرضفة النادرة المؤلفة من عديدات الأرجل في الترياس الألي، لأن المرجانيات الرباعية اختفت تماماً قريباً. ويجب أن نذكر، من بين الزنبقيات، نوعاً مميزاً جداً يكثر في الكلس ذو الأنتروك في الموشلكالك: Encrinurus liliiformis. وكذلك الأمر بالنسبة لعضديات القدم، فإنه فيما عدا بعض الأجناس النادرة ذات القرابة مع مثيلاتها في الحقب الأول، والتي تلاشى بعضها في الترياس، يجدر بنا أن نضع جانباً

مجموعتي آل Terebratulides والـ Rhynchonellides التي تكثر مثلثاتها في الموشلكالك: *Coenothyris communis* التي تعتبر مستحاثاً جيدة مميزة.

وأكثر القشريات وجوداً في الترياس هي *Estheria*، وهي أشكال صغيرة ثنائية المصراعين، وقد سبق التعرف عليها بالحقب الأول، والتي تصادف في السحن اللاغونية في الترياس الجرمانى.

ولكن هناك ثنائيات المصراعين الأخرى، التي تنتسب إلى صفيحات الغلاصم، كانت أيضاً شديدة الانتشار في الموشلكالك، وهو طابق من الترياس الأوسط يطلق عليه الاسم نفسه ولتذكر أيضاً آل *Gervillies* وبلح البحر *Moules*، والمحار وثنائية المصراع *Limes*، و*peigner* (شعار شركة شل) الخاصة بالسحن الجرمانية و *Daonelles* و *pseudomonotis* و *halobia* في الترياس الألبى. بينما تكون معديات الأرجل، في سحن ساك كاسيان، بجبال الألب الشرقية، غنية بأشكال متنوعة.

ومستلعب أشباه الأمونيات هنا أهم دور وخاصة مجموعة الـ *Ceratites*، الكثيرة الانتشار في الموشلكالك والتي تقوم بعض أنواعها بتعريف نطاقات استحاثة. ولكن الترياس الألبى يتفوق بشكل أكبر بكثير على الترياس الجرمانى من وجهة النظر هذه، فإذا كنا نجد فيه قليلاً من الـ *Ceratites*، إلا أن الأمونيات الأخرى تكون فيه عديدة ومتنوعة (مثل مكن هالشتاد): ونذكر منها *Arcestes* و *pinacoceras* في الترياس الأوسط والأعلى، و *Trachiceras* و *monophyllites* في الترياس الأعلى.

والفقاريات الترياسية هي عبارة عن أسماك (جنس *Ceratodus*) وشفندعيات مصفحات الرأس *Stegocephales* وزواحف (ديناصوريات و *Theromorphes*) التي ظلت بصمات أقدامها، المميزة جداً، محفوظة كثيراً على صفائح صخور الحرسان (الحث) الأحمر الذي يمثل الرمال الكتبانية في صحاري ذلك العصر.

هذا ويشتمل النبيت القاري الترياسي أيضاً على بعض نماذج عتيقة ولكنه يتميز بأحد أشباه المخروطيات *coniferales* كثير الانتشار هو *Voltzia* *heterophylla* وبعديد من الأمسوخات الشتوية *Preles* الجبارة انتشرت خلال الكويبر *Keuper*. ولتتوه أيضاً بوجود الـ *Gynkgoales*، و *bennettitales* و *cycadales*. وفي العصر نفسه، أخذ النبيت الخاص بقارتي غوندوانا وأنغارا بالانحطاط، وأصبح النبات منسجماً فوق كل الأرض. أما في البحار فإن مجموعة السفونيان *Siphonees* هي التي كانت تهيمن في هذا الحين، كما كثرت بقايا الـ *Diploporos* أو *Gyropor* في بعض صخور الترياس الكلسية الجرمانية والألبية، كما أن بعض أنواعها يمكن استخدامها كمستحاثات مميزة.

نطاق آمونيات الترياس:

نوري:

كوبر

.....Sirenites argonautos  
.....Pinacoceras metternichi  
.....Cyrtopleurites bicrenatus  
.....Cladiscites ruber  
.....Sagenites giebels

كارني:

.....Tropites sub-bullatus  
.....Trachyceras aonides  
.....Trachyceras aon

لاديني

موشكالك

(Ceratites antecedens, c.  
nodosus, C. semi-partitus.

.....Protrachyceras archelaus  
.....Dinarites avisianus  
.....Protrachyceras curionii

آتيسى (فريغلوري)

.....Ceratites trinodosus  
.....Ceratites binodosus  
.....Stephanites superbus

ويرفيني (ميشي)

حت مرقش (بوتساندستين)

Flemingites  
.....flemingianus  
.....Flemingites radiatus  
.....Ceratites normalis  
.....Proptychites tribolatus  
.....Proptychites lawrencianus  
.....Gyronites frequens  
.....Ofocera woodwardi

ويتميز العصر الجوراسي خاصة بوحيشه. غير أن النبيت استمر، بالفعل، رغم أنه فقد بعض النماذج العتيقة التي امتدت بها الحياة، أقول استمر في الوحيش الترياسي نفسه الذي أخذ بالتكامل فيه: وقد كانت السيكاسيات Cycadophytes (Bennettiales و cycadales) تُولف فيه القسم الأعظم مع عاريات البذور الأخرى، وذلك خلالا الحقب الثاني كله، بحيث أن هذا العصر كان حقاً عصر عاريات البذور. ولكن أشباه المخروطيات Coniferales لم تتخذ طابعاً حديثاً إلا ابتداءً من الجوراسي الأعلى، عصر رأى ظهور أوائل النماذج البنيوية الحالية. وهناك بعض عاريات البذور النادرة التي تعتبر هامة من وجهة النظر الاستحاثية، لأنها تبدو وكأنها تبشر بظهور مغلفات البذور التي ظهرت في الكريتاسي. ولنصف إلى ذلك القول أن لاغونات الجوراسي الأعلى (البوربكي) كانت تحتاحها الطحالب (الشارا Chara) التي ساهمت بتشكيل صخور الكلس في ذلك العصر.

وسيميز الوحيش الجوراسي بازدهار الأمونيات والزواحف، وبظهور البرمائيات العديمات الذيل والطيور (Archaeopteryx)، كما تضاعف عدد النماذج القديمة لأدنى حد والقليل جداً من الفصائل التي يمكن اعتبارها كخاصة بذلك العصر.

ونذكر من بين البروزيات خاصة الشعاعيات، التي شكلت صخوراً سيليسية تدعى راديولاريت وبعض المنخربات البحرية مثل الغلوبيجرين، ونفقيات مثل الـ Calpionelles التي تكثر أحياناً في الصخور الكلسية البحرية في التيتوني. وأخذت الإسفنجيات السيليسية (Hexactinellides و lithistides) في هذا العصر بالانتشار الكبير في بعض السحن (طابق قديم يدعى بالماضي Spongition وحالياً أرغوفي) حيث يتسج عن تراكم قواقعها الصغيرة تشكل صخوراً تسمى gaizes أو Spongolithes.

إن جميع المدخات Polypiers هنا هي عبارة عن مرجانيات سداسية وتظهر أهمية الأرصفة التي شكلتها خاصة بوساطة الصخور الكلسية البيضاء الرصفية اللوزيتانية (كان يدعى قديماً الطابق المرجاني). وكانت اللاحشويات

الـ alcyonaires الوفيرة هي Cancellophycus (= Siprophyton) وهي آثار لولبية متناثرة، منسوبة إلى Gorgonides. واحتفظت الزنبقانيات بأهميتها ويجدر بنا ذكر بعض الأجناس الخاصة: Pentacrinus الليامسة، Apiocrinus في الجوارسي الأوسط و Millericrinus في الجوارسي الأعلى ولكن الصخور الكلسية ذات الأتروك التي نتجت عن تهشيم أنقاضها توجد خاصة في الجوارسي الأوسط.

ولقد تكاثرت القنفذيات (أخينوسات) الحقيقية، التي ظهرت بالترياسي مع فصيلة السيداريات Cidarites، واستخدمت كمستحاثات مميزة: وأكثرها وفرة هي أجناس Collyrites، Clyplus، Stomechinus، Glyptichus و cidaris.

وتمثل عضديات الأرجل الجوراسية أشكالاً ساحلية في معظمها (Rhynchonelles و Terebratules) وأشكالاً ذات سحن عميقة مثل الـ Pygopes (أو Terebratules ذات قشرات رقيقة، مثقوبة) تميز الجوارسي الأعلى. وتطاول الأمد ببعض المجموعات القديمة، مثل الـ Spiriferines حتى الجوارسي الأوسط.

وهذه بضعة من صفيحيات الغلاصم التي تعتبر خاصة بالجوارسي، ولا سيما الـ Diceratides، التي تنسب لمجموعة خاصة من الروديست والتي كان ظهورها في ذلك العهد. وهناك الـ Aucelles التي تميز، مع بعض رأسيات الأرجل، منطقة شمالية من الجوارسي، كما كثرت الـ Astrates وبعض المحار المسماة غريفيه Grypees في بعض الطوابق، كما تحتوي معظم السحن الشيستية على Posidonomyes. ونجد القليل من معديات الأرجل المميزة، غير أن السحن الرصيفية تحتوي مع ذلك على الكثير من النيرينات Nerinees، كما تتميز بعض السحن الوحلية بوفرة الـ Pteroceras (قديماً طابق Pterocerien).

ويقوم طبق الجوراسي كله على الأمونيات التي تكاثرت فروعها بإفراط مذهل في هذا العصر. ونصادف فيها كل أنماط التطور، تطور قصير، تطور بطيء مع تنوعات عديدة، وتطور بطيء دون تعديل كبير.

وقد يحدث هذا التطور محلياً، أو في مناطق مختلفة، بفضل الهجرات الكثيفة أو الفجائية. وبما أن كل هذه الحيوانات كانت من السابحات الماهرة، فإن توزعها

في وقت ما قد يكون كبيراً جداً، وعلى الأرجح في السحن العميقة (أشكال ملساء) ولكن أحياناً أيضاً في سحن ساحلية (أشكال مزخرفة). لهذا كان من اللازم القيام باختيار في هذا الخليط من الأمونيات. ومن بين الأشكال التي لا تحصى، علينا أن نمنح الأفضلية لأكثر الفروع غنى بطفرات جيدة والتي كان تبعثها أكثر أمثاله في فترة معينة. ولكن، إجمالاً، يمكن القول أن اليباس الأسفل يتميز بوجود الـ *Arietides* واللباس الأسفل بالـ *Amaltheides*، واللباس الأعلى بوجود *Harpoceras* التي يضاف إليها الأجناس الثلاثة *Sonninia*، *Oppelia*، *Parkinsonia* في الجوارسي الأوسط، وتفوقت في خلال الكالوفي - الأوكسفوري أجناس *Macrocephalites*، *Cardioceras* و *Reineckeia* وشهد الجوارسي الأعلى حدوث انتشار الـ *Gravesia* والـ *Perisphinctides* التي تعتبر بعض أشكالها، مثل الـ *Virgatites*، مميزة لإقليم شمالي.

### نطاقات الأمونيات في الجوارسي.

#### البورتلاندي

<i>H. chaperi</i> , <i>Hoplites progenitor</i> , <i>perisphinctes snex</i>	تيتوني أعلى
<i>Berroiasella</i> و <i>Perisphinctes contiguus</i>	تيتوني أوسط
<i>Oppelia lithographia</i>	تيتوني أسفل
<i>Perisphinctes bonionensis</i>	بونوني
<i>Pachyceras (Gravesia) Portlandicum</i>	

#### الكيميرجي

<i>Aulacostephanus pseudomutabilis</i> , <i>Aspidoceras caletanum</i> , <i>A. Orthocera</i>	فيرغولي
<i>Oppelia (streblites) tenuilobata</i> , <i>Rasenia cimodoce</i>	بيروسيري
	لوزيتاني
<i>Perisphinctes Achilles (Astartien)</i>	سيكوني
<i>Peltoceras bicistatum</i> (= <i>P. Bimammatum</i> )	رواسي

Peltoceras transversarium, canalicuatum	Ochetoceras	أرغوفي
Cardioceras cordatum		أوكسفوردي
Cardioceras Mariae		
Cardioceras Lamberti, Peltoceras athleta		
Reineckeia anceps		كالوفي
Macrocephalites macrocephalus		
Oppelia (Clydoniceras) discus		باتوني
Oppelia aspidoides		
Oppelia fusca		
Cosmoceras (Garantia) Garanti, Parkinsonia		باجوسي
Parkinsoni و Oppelia subra diata		
Romani و Oppelia subradiat		
Sphaeroceras (Emileia) Sauzei, S. (Stepheoceras)		
Humphriesianum		
Sonninia Sowerbyi, Withcellia Laeviuscula		
Harpoceras concavum		آلكي
Harpoceras Murchisonae		
Harpoceras Opalinum		
Dumortieria Pseudoradiosa, D. Levesquei		
Harpoceras (Pleydiella) aalense		
Lytoceras Jurens		توارسي
Harpoceras bifrons		
Harpoceras falciferum		
Amaltheus spinatus		شارموتي
دومري		



Domerien	<i>Amaltheus margaritus</i>	
بليانسباشي	<i>Deroceras Davoci</i> , <i>Aegoceras capricorun</i>	
	<i>Polymorphites Jamesoni</i> , <i>Phylloceras ibex</i>	
Pliensbachien	<i>Deroceras armatum</i>	
لوئارنجي	<i>Arietites (Echioceras) raricostatus</i>	سينيموري
	<i>Arietites (Echioceras) rariocostatus</i>	
Lotharingien	<i>Oxynoticeras oxynotum</i>	
	<i>Arietites (Asterocheras) obtusus</i>	
	<i>Aegoceras Planicosta</i>	
	<i>Arietites (Asterocheras) Turneri</i> ,	
	<i>Deroceras Birehi</i>	
سينيموري	<i>Rietites (Arnioceras semicostatus</i>	
S. str	<i>Arietites Bucklandi</i>	
	<i>Schlotheimia angulata</i>	هيتانجي
	<i>Psiloceras Planorkis</i>	
	أمونيات في جبال الألب الشرقية فقط	ريبي

وهناك رأسيات أرجل أخرى، مثل البيلمانيات *Belemnites*، تكثر أيضاً وتنتشر، في كل السحن، في الجوارسي، ولكنها لا تعلب فيه أبداً دور الأمونيات التطبيقي. وقد صنف الأشكال استناداً إلى اتجاه الشق البطني لخرطوم القوقعة، وهكذا فإن فقدان هذا الشق يميز أشكال اللياس الأسفل والأوسط (*Paxillosus* و *B. Excentricus*) وتظهر في اللياس الأعلى أشكال ذات شق بطني يبدأ من رأسي المتك أو الخرطوم (*B. irregularis* و *B. gigantius*) وابتداءً من الجوارسي الأوسط، لا يظهر هذا الشق إلا فوق المتك أو الخرطوم (*Belemnopsis* *hastatus*). ويظهر شكل شمالي، *Cylindrotuthis*، في الجوارسي الأعلى ليحل

عمل الأشكال السابقة، بينما تظهر في مناطق البحر الأبيض المتوسط نماذج ذات خرطوم منقعر أو Duvalia.

كما شهد العصر الجوارسي أيضاً انتشاراً كثيفاً للزواحف في أشكال مختلفة من حيث القامة والتي كانت تتواءم مع كل البيئات.

ومن بين هذه الأشكال نذكر الـ ichthyosaures والـ Plesiosaures وتماسيح بدائية ومدركة كانت تستوطن البحار، وفوق الأرض كانت تتطور دينوصوريات ضخمة من ذوات الأربع، وديعة وأكلة عشب، تعتبر من أكبر الحيوانات المعروفة (مثل Diplodocus) ولكن كان يحاورها حيوانات مفترسة رهية من ذوات الرجلين (مثل Ceratosaurus)، كما كان المجال الجوي مأهولاً بـ Pterosauriens و Pterodactyles و Ramphorhynchus.

ولتذكر أن جد الطيور ظهر في الجوارسي الأعلى مع صفات زواحفية أكيدة (وهو Archaeopteryx) (في الكلس الطبايعي في سولنهورفن) وأن بعض أوائل الثدييات اللامشيميات بدأت تظهر منذ الريتي بالنسبة لعديدة الدرنات Multitubercules، وبالنسبة للكيسيات في الباتوني.

وهناك أمر يشير إلى مطلع العصر الكريتاسي، ألا وهو ظهور مغلفات البذور ونباتات ذات أزهار. وكان هذا الظهور المفاجئ مصحوباً فوراً بتعدد فريد للنماذج فوق كل القارات، وهذا ما دعا للقول أن الكريتاسي كان حقبة مغلفات البذور. ومن جهة أخرى أخذت كل النماذج العتيقة بالتلاشي وتجدد النبيت كله بدوره في الكريتاسي الأعلى، بحيث تستطيع كل عناصره أن تدخل في إطارات تصنيفنا الحالي.

وتأف لافقاريات الكريتاسي في بادئ الأمر من المنخربات التي تكاثرت في الحوار، وتتألف بعض السحن البحرية أو الساحلية من (غلوييجرين، Miliolides, Lagenas, Rosalines). وقد جاءت لتضاف إلى هذه الأشكال المجهرية منخربات جبارة، مفيدة جداً في التطبيق، مثل الـ Orbitolines في الكريتاسي الأسفل و Miliolides trematophores و Orbitoides في الكريتاسي الأعلى.

أما مجموعة الإسفنج، التي كانت تمثلها دوماً الـ Hexactinellides، Lithistides وبعض الصخور الكلسية، فقد كانت في أوج توسعها. وقد تولى الإسفنجيات السيليسية بعض الطبقات الرقيقة الرصفية في السينوني في بعض المناطق (البروفانس).

وابتداءً من ذلك العصر أصبحت أرصفة المدخات، التي بدأت تنحدر تدريجياً باتجاه مناطق البحر الأبيض المتوسط، الأكثر حرارة، في خلال الجوارسي، أصبحت محصورة في هذه النطاقات. ويميز جنس Cyclolites فيه الكريتاسي الأعلى. استمرت بعض الستروماتوبور Stromatopores حتى السينوماني في مناطق شارانت (غرب فرنسا) حيث انطفأت.

وكانت تمثل شوكلات الجلد ببعض الزبقانيات (Marsupites و Uintacrinus) ذات الملامح العتيقة، وخصوصاً بوساطة القنفذيات oursins التي آثمت هنا تطورها وتستخدم كثيراً كمستحاثات مميزة. ومن وجهة النظر هذه، نذكر خاصة فصيلة Spatangides (أكلات الوحل irreguliers limivores) التي تقدم مختلف أنواع الـ Toxaster فيها سلباً طبقاً بالنسبة للنيوكومسي Neocemien. ونجد في الكريتاسي الأعلى، أن بعض القنفذيات تكون هي أيضاً مميزة جداً (Holaster و hemipneustes و Ananchytes) ويمكن استخدامها لإقامة نطاقات استحاثة (باليونولوجية) (Micraster).

وقد سبق لمجموعة عضديات القدم أن فقدت معظم أجناسها، وإذا استثنينا الـ Terebratulides والـ Rhynchonellides، التي تمثلها أفراد عديدة، فإنه لا يمكننا أن نسردها كاشكال مفيدة سوى بعض صغار عضديات القدم الساحلية في الحوار مثل Crania و thecidea.

وهناك بعض فصائل صفيحيات الغلاصم، مثل فصيلة incoeramides تقدم خدمات من وجهة النظر الطبقة لدرجة أمكن إقامة سلام حقيقية لـ inocerames لتصنيف الكريتاسي الأعلى في بعض مناطق أوروبا الوسطى. وهناك أشكال لا تكون فيها أبداً نادرة، وخاصة الـ Nuculides

Pholadomyes و Plicatules في السحن الوحلية، والمحار في السحن الأقرب للسواحل (Exogyres و alectryonies)، وأخيراً الـ Aucelles في المناطق الشمالية التي تتميز بها في الكريتاسي وفي الجوارسي. ولكن أشهر صفحيات الغلاصم هي الروديست (التي لا تزال تسمى Pachyodontes) التي كانت تلعب في أثناء الكريتاسي دوراً لا مثيل له، سواء بصفحتها كمستحاثات مميزة وكعضويات بناء للصخور. وقد أخذت بالتكاثر بشكل خاص ابتداءً من الأورغوني في مناطق البحر الأبيض المتوسط مع أجناس Requinia و Toucasia (بارمي - آبسي أسفل) و Polyconites و horioptleura (آبسي أعلى)، Caprina، Hippurites و راديوليت (سينوماني - داني).

وإلى جانب ذلك لم يكن لمعديات الأرجل سوى دور ضئيل جداً فلا نستطيع أن نذكر منها سوى الـ Acteonelles في الكريتاسي الأعلى للبحر المتوسط والنيرينية Nerinees في السحن الرصفية الأورغونية. وعلى كل حال تكثر في السحن القارية لمنطقة البروفانس (جنوب فرنسا) أشكال غير ملتفة مثل Lychnus في الداني.

وهذا واستمرت مجموعة الأمونيات خلال كل الكريتاسي مع نفس العنفوان ولم تلاش إلا في الداني. وهنا أيضاً أمكن تمييز نطاقات استحاتية في الطوابق الرئيسية. وبعد الأشكال الملساء في السحن العميقة مثل الـ Phylloceratides و lytoceratides و Desmoceratides نجد أشكالاً ذات قواقع مزخوفة، أكثر قريباً للساحل مثل أجناس Hoplitcs و Mortoniceracs و Schloenbachia و douvilleiceracs.

ولنصف إلى ذلك أن جنس simbirskites هو الذي يميز البارمي في المنطقة الشمالية وإن Polyptychites تميز الهوتريفي ومجموع Polyptychites و garnieria و Craspedites هو الذي يميز الفالانجي.

هذا وتستخدم يلمنيتات الكريتاسي عادة في التطبيق. كما استمرت Belemnopsis الجوراسية في الكريتاسي الأعلى كما برز جنس Pseudobelus

الذي كان فيه الشق الظهري أو المتك rostre واقعاً في المنطقة النخرية أو السحنية. ولكن تكاثرت بشكل خاص اليلمينيات المبسطة (Duvalia) مع أنواع نيوكومية جيدة.

وتجاه هذه الأشكال في منطقة البحر الأبيض المتوسط والتي لم تتجاوز الألياني، تقابلها أشكال المنطقة الشمالية Cylindroteuthus الجوراسية التي استمرت في الكريتاسي الأدنى، وظهرت اليلمينيات في التوروني وتطورت حتى نهاية السينوني وأعطت عدة أنواع مميزة.

ويجب أن نذكر الأسماك من بين الفقاريات، وانتشار العظميات Teleosteens، التي ظهرت في اللياس، ومن بين الزواحف كان استمرار الدينوصوريات (Tracholon, iguanodon) وظهور الـ Ceratopsiens (Triceratops)، وأسماك طفوريات Stegosauriens (Stegosaurus) و Mosasauriens أو ثعبانيات الشكل Pythonomorphes وهي مجموعات محصورة في الكريتاسي الأعلى.

وأخيراً لنجد الطيور ذات الأسنان العائدة لكريتاسي الأعلى إلا في هذا الوقت، وبالتالي في هذه الأراضي، وفي منغوليا، أمكن منذ عهد قريب، اكتشاف أقدم الثدييات المشيمية المعروفة (Deltatheridium و Zalambdalestes) التي يبدو أن لها صلات نسب مع آكلات الحشرات.

#### نطاقات العمونيات في الكريتاسي.

Nautilus danicus لا توجد عمونيات	داني
Bostrychoceras Polyplocum, Baculites anceps	مايسترشي
Platoniceras bidorsatum	كامباتي
Mortoniceras Texanum	ساتتوني
Barroisiceras, Tissotia	كوتاسي
Mammites nodosoides, Vascoceras	توروني
Acanthoceras rothomagens, Scaphites, aequalis	سينوماني

Avanthoceras Mantelli و Schlönbachia varians

Mortonicerias rostratum, Soliczkaia disper

ألي

Turritiles Bergeri (فاركوني)

Mortonicerias Hugardianum, M. varicosum

Hoplites dentatus, Douvilleicerias mamillatum

Hoplites tardefurcatus, Douvilleicerias mamillatum

Acanthoplites Bigoureti

Oppelia nissus (Gargasien). Hoplites Deshayesi

أبي

Anculoceras Matheronu (بيدولي)

Macroscaphities Yvani

بارمي

Pulchellia Pulchella

Hoplites angulicostatus

Desmoceras difficile

Crioceras Duvali

موتريفي

Hoplites radiatus

Hoplites neocomiensis

فالانجي

Hoplites Boissieri et H. ponticus (بيريازي)

### تبيت ووحيش العصر الثالث:

ابتداءً من الدور الثالث لم يعد التبيت مختلفاً عن التبيت الحالي إلا من حيث توزيع الأجناس.

وهكذا أخذ العامل المناخي يحتل مكانة كبرى من حيث الأهمية. فبعد الطغيانات (التجاوزات) الكبرى في الكريتاسي الأعلى، أخذ الانحسار الذي تدشن في العصر الثالث يعيد للمقارنات المشهد الذي كانت عليه في الكريتاسي الأسفل، ولكن النطاقات المناخية راحت تتعدل تدريجياً، في حين جنحت الحرارة



ولقد حقق عالم الحشرات خطوة للأمام مع ظهور النباتات ذات الأزهار ونعرف الكثير من مكانها وأشهرها من ناحية حفظ المستحاثات هو مكمّن العنبر في الأراضي الأوليفوسينية لمنطقة سامالاند على ساحل بحر البلطيق.

وتتكون الرخويات المستعملة في تطبيق الثلاثي من السيريت Cerithes بالنسبة للعصر النموليتي (إيوسين وأوليفوسين) وفصيلة Pectinides بالنسبة للتيجون (ميوسين ويلوسين) وتقدم هذه الفصيلة مستحاثات مميزة عديدة.

وإذا استثنينا الثدييات التي تقدم خلال كل العصر الثالث خدمات قيمة من أجل إقامة تزامنات على مسافات طويلة، فلا يمكن أن نذكر من بين الفقاريات كمجموعات هامة سوى الأسماك، المعروفة خاصة بوساطة أسنان سمك القرش التي تكثر غالباً في بعض الرسوبات، والطيور المجهزة بمنقار التي ظهرت في هذه الفترة.

هذا ويستند التقسيم الدقيق للطوايق على وحشيات متعاقبة مؤلفة من الثدييات أمكن العثور عليها، بطول أناة، ضمن مكان العالم قاطبة، ففيما يتعلق بالإيوسين الأوربي يقدم الثاني Thanetien أوائل عديدات الدرنات Multitubercules الثلاثية وبعض الـ Creodontes (مثلاً مكمّن Crenay - les Reims) وفي السبارناسي ظهرت أوائل وحيدات الإصبع imparidigites (Ayratherium) والضعيفات القدم Amblypode مثل Coryphodon (كما في مكمّن مودون قرب باريس) وفي الإيسيري ظهر جنسا Lophiodon وprotodichobune (ذوات الظلفين Paridigite). وفي اللوتيسي تكاثرت الـ Lophiodons ونلاحظ ظهور أجناس Propaeotherium و Dichobune (مثلاً: مكمّن التشكالات الثلاثية الغنية بفلز الحديد في Ergenkingen في سويسرا و lissieu في منطقة الرون). والوحيش المسمى البارتوني مع أواخر فصيلة الـ Lophiodontides والـ Palaeotherides العديدة، فقد ظهر في الليدي Ledien (بارتوني) في حين أن الليدي يتميز بتعايش أجناس Palaeotherium و Xiphodon، anoplotherium (مكمّن جيس مونمارتر).



وفي مطلع الأوليغوسين، كان السانورازسي يضم، إلى جانب Anthracotherides و xiphodon و Anoplotherium (مثل مكن رونزون بمقاطعة Velay) والفصيلة الأخيرة استمرت مع الكركدنيات (Aceratherium) وأواخر Paleotherides، في السامي (غضاريات سان هانري قرب مرسيليا، و فرسفوريت كيرسي) وحتى في الشاتي Chatten (كبار الـ Anthracotherium و Aceratherium في الصخور الكلسية البيضاء بمنطقة Agenais). وابتداء من الأكتاني ثلاثت الـ Anthracotherium الحقيقية وأضحى الوحيش السامي بحالة مفتقرة جدا (مكن سان جيران لويوي، بمقاطعة Allier).

وأخيرا نشير إلى ظهور أجداد الخرطوميات (أشباه الفيل) (Maeritherium و palaeomastodonts) منذ الأوليغوسين، في مصر، وظهور أوائل القرديات catarrhiniens مثل Propliopithecus والـ Parapithecus التي يمكن تصنيفها مع فرع البشريات Hominiens.

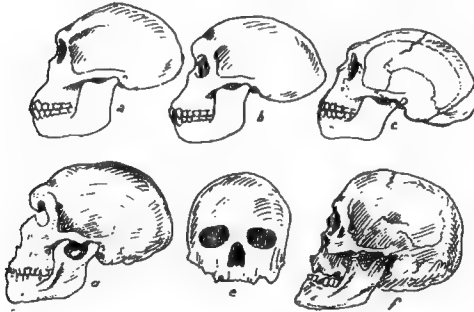
واجتاحت الخرطوميات أوروبا في الميوسين (Dinotherium، Mastodon) شأن فئة Anchitherium، وستستمر خلال الفيندوبوني والبوني وحتى البليوسين الأسفل مصحوبة بالجليات في البوني وفصيلة الكركدن التي تميز أنواعها المتعاقبة مختلف الطوايق. وسيشهد البليوسين الأعلى اندثار أواخر الماستودونت وظهور الفيلة، والحصان والثور. وخلال هذا الزمن تفردت مختلف فروع القردة الشبيهة بالإنسان، في حين أن فرع الإنسانيات تمدد حتى البليوسين، وهو العصر الذي أعطى خلاله فرع ما قبل الإنسانيات Prehominiens وفرع أشكال (Australopithecus) australopithecoides.

#### نبيت ووحيش العصر الرابع:

يتصف مطلع الفترة الرباعية بتبرد عام، فتعرض شمالي أوروبا وأمريكا وكل الكتل الجبلية إلى زحوف جمودية. ويعتبر اثنان من هذه الزحوف خاصة، هامين، وهما الأخيران، ويظهران منفصلين بحقة بين جمودية مصحوبة بتسخن في الحرارة. وبعد الحقبة الجمودية الأخيرة، جاء تسخن جديد بمهد فورا للحقة الحالية.

وتقهقرت الغابات الكثيفة، التي استقرت فوق القارات خلال البليوسين، نحو الجنوب، ولكن بينما كانت الكتل الجبلية في أوروبا، ذات الاتجاه العرضاني السائد، كانت تلعب دور حاجز إذ أصبحت كمحنة قاسية للنبيت الذي ظل فيها محروماً من عناصره الحارة، كان الوضع الطولاني للجبال في القارة الأمريكية، على العكس، موافقاً لهذه الهجرات، وكذلك الحال بالنسبة لعودة نباتات البليوسين في فترة التسخن التالية.

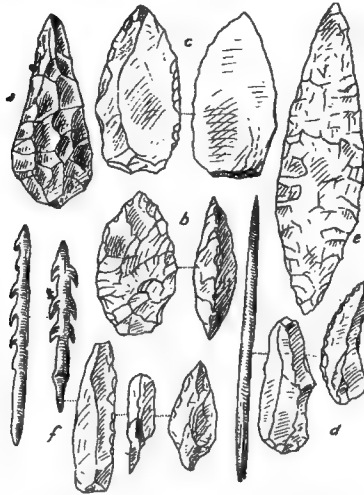
ولنحظ في أوروبا الغربية، تعاقب ثلاثة أنواع رئيسية من النبيت: فلور شبه قطبي، توندرا، أو فلور ذو (D. octopetala) Dryas رافق تقدم الجمودية القارية باتجاه الجنوب، وإلى الجنوب من ذلك ظهر نبيت سهبي من تحيليات وشجيرات صغيرة مع أشجار الصنوبر والسندر، وأخيراً نبيت حراجي مع مخروطيات (إيسيتا Epiceas) وذات أوراق (زان، بلوط).



شكل 158 المراحل الكبرى لمراحل البشرية فيما قبل التاريخ. أولاً، المرحلة الأنثروبية (ما قبل الإنسانية)، a، إنسان - قرد جاوا. b، الإنسان الصيني لمنطقة شوكونتين (قرب بكين). c، الإنسان الإفريقي لتانغانيكا. ثانياً، المرحلة النياندرتالية. d، إنسان نياندرتال لمنطقة Farrassie ثالثاً، مرحلة الإنسان العاقل المستحدث. e، إنسان كرومانيون. f، إنسان شانسلاد.

ويستطيع هذا التعاقب الذي يظهر في المكان، أن يظهر محلياً في الزمان، على الشاقول نفسه، وذلك في التوضعات بين الزحوف الجمودية الرباعية في شمال أوروبا.

وستؤثر الشروط المناخية أيضاً على تقلبات صروف الوحيش. كما أن البحار التي لم تختلف حدودها كثيراً عن حدودها الحالية، لم يختلف فيها وحيش الرخويات عما هو عليه حالياً، إلا من حيث هجرة بعض الأجناس أو تلاشيها. ويضم الوحيش الصقلي (الرباعي الأسفل، زحف جمودي مندل) بعض الأنواع البائدة البليوسينية وأشكالاً باردة (*Cyprina islandica*). وخلال الفترة التيرينية لم يحدث تلاشي أي أنواع تقريباً، ولكن التسخن الناتج عن (الفترة الفاصلة بين الزحف الجمودي المنديلي والريسي) سمح بوصول أنواع سينغالية (*Strombus bubonius*)



شكل 159 الصناعات الأوربية لما قبل التاريخ. a، سلاح صواني شيللي (Abbevillien). b، سلاح صواني آشولي (وجه ومقطع). c، شظية موستيرية. d، أداة أورينياسية (إبرة من عظم مشقوقة وشفرتان من الصوان). e، صوان على شكل ورقة الغار سولوترية. f، أداة مجدلية (حريتان من قرن وعل الرينه وصوان مختلف).

ولم يتشكل الوحيش الحالي ابتداء من تلك الفترة إلا بعد تلاشي بسيط للأشكال (الحيوانية) الحارة التي ارتدت إلى مناطقها الأصلية. ولا يظهر تأثير الزحفين الجمودين (الريسي والفورمي) تقريباً على تطوير الوحيش الذي أصبح منذ ذلك الوقت مألوفاً ومماثلاً للوحيش الحالي.

ف فوق القارات كانت الثدييات وهنا أيضاً، هي ذاتها، والتي سمحت بإقامة أفضل تاريخ، ويمكن أن نميز بالتعاقب: وحيشاً قديماً حاراً (فيل قديم، كركدن

Merki فرس النهر (سيد قشطه)) أعقبه عالم حيواني بارد (ماموت وكركدن صوفي، ريتة، ثورمسكي وعديد من القوارض). ثم سمحت شروط الحرارة بعودة الوحش الحار، الذي طرده من أوروبا أول تبرد ناجم عن الزحف الجليدي. وكانت قناريات كبيرة ترافق القناريات السابقة وهي: الحصان، الوعل، الثور الوحشي الأوروبي، الثور الوحشي الأمريكي Bison، وأخيراً الأسد ودب الكهوف، مما يشهد على وجود غابات واسعة ومناخ سهوب معتدلة.

وفي تلك الفترة كانت فرع الإنسانيات يتفرد تدريجياً، سواء في آسيا أو في أفريقيا وقد تلاشت أشكال أشباه القدرة الجنونية خلال الدور الرابع التي كان يمثلها Plesianthropus و Paranthropus، ولكن سيكون للفرع القريب من ما قبل الإنسانيات، مثل القرد الإنسان، والإنسان الصيني، والإنسان الإفريقي مصير مختلف تماماً لأنه ستنج عنه الإنسانيات الحقيقية التي يمثلها خاصة نموذج نياندرتال، الذي يعتبر من أفضل أمثاله معرفة بالنسبة لما قبل التاريخ. وكان علينا أن نتظر حتى الدور الرابع الأعلى كي نظهر العروق المختلفة المائدة للإنسان العاقل المستحاث مع اتجاهاتها المتنوعة: مثل أشباه المنغولي (نموذج شانسلود) وأشباه الزنوج (نموذج غريمالدي) والأوروبية (نموذج غرومانيون).

وفي هذا الوقت يستعاض عن المستحاثات بالأدوات الصخرية المصنوعة من الصوان، التي تكون مقصوفة بخشونة (العصر الحجري القديم)، ثم تليها أدوات أكثر إتقاناً وصقلأً (العصر الحجري الجديد)، وابتداءً من هذا العصر يترك الجيولوجي مكانة للمؤرخ. وخلال العصر الحجري القديم يمكن تقصي مصنوعات عديدة تنطبق على العصر الحجري القديم مثل الشيللي (التميز بأشكال تماثل اللوزة، مدببة من نهايتها، ومدورة من الجانب الآخر مع لمسات على كل الوجهين) والأسولي (مع أشكال لوزية مع لمسات دقيقة لجعل السلاح الصواني ذا حافات جارحة)، والموسيري (وهو شظايا خشنة الصنع على وجه واحد على شكل حروف حربة الرمح ومكاشط). وبعد هذا المجموع يأتي عصر حجري قديم أحدث، تم خلاله إتقان الأدوات المصنوعة وأعطى المراحل الآتية:

أورينياسى (شفرات من صوان جيدة التهذيب، مع أدوات من العظام التي ظهرت في هذه الفترة) والموسولوتري (وفيه صوانات رقيقة بدیعة وكبيرة المقياس تسمى أوراق الغار)، والمجدليني (شفرات من صوان مهذبة على شكل مكاشط وأدوات عظمية متقنة جداً). ويتميز هذا العصر بأنه عصر التقدم الرائع للفن، فن صخري خاصة، نعرف بفضلہ، فضلاً عن الإنسان ذاته، لأنه لا يصور ذاته إلا قليلاً، فعلى الأقل يصور نماذج الوحيش الذي كان يعيش في زمنه نفسه (ماموت، كركدن، ثور بيزون، وعل... إلخ) والذي كان يطارده الإنسان في ذلك الوقت لغاية نفعية.

## المراجع

- 1- كوكب الأرض - ظواهره التضاريسية الكبرى- دكتور حسن سيد احمد ابو العينين- مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية.
- 2- المياه الجوفية والآبار- مهندس استشاري- محمد احمد السيد خليل- دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - القاهرة.
- 3- هيدرولوجية المياه الجوفية - د. ديفيد كيث توود - ترجمة الدكتور- رياض حامد الدباغ والدكتور حميد رشيد رفيق - الموصل.
- 4- علم الطبقات (الستراتيغرافيا) - د. عبدالله شاكر السياب - جاسم علي الجاسم - بغداد.
- 5- معالم سطح الأرض -دكتور جودة حسين جودة - دار النهضة العربية - بيروت .
- 6- مقدمة في علم البلورات والمعادن والصخور - محمد عبد الوهاب الشناوي - دار المعارف- القاهرة
- 7- الجيولوجيا في خدمة الإنسان- فيرنسيلز، وج. وبولمان، أ.م ترجمة - محمد إبراهيم عطية
- 8- الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية - أنور مجيى محمد، ومحمد العربي- دار المعارف - القاهرة.
- 9- وجه الأرض- محمد متولي - القاهرة.
- 10- علم الجيولوجيا- محمد لطفى عبد الخالق - محمد جابر بركات- جورج فيليب- عبد المنعم الطناني- وزارة التربية والتعليم - مصر

- 11- تطبيقات في الجيولوجيا العامة -د. محمد عبد الغني مشرف، دار المريخ للنشر - السعودية
- 12- التراكيب والخرائط الجيولوجية -د. فخري موسى نحلة - دار المعارف- القاهرة.
- 13- الوجيز في الجيولوجيا- ليون موريه- ترجمة د. يوسف الخوري و د. عبد الرحمن حميدة، طلاس للدراسات والنشر والترجمة
- 14- المرجع السهل في علوم الأرض والبيئة - إبراهيم أبو عواد - دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع- عمان -الأردن.
- 15- مبادئ الجيومورفولوجيا لـ(أشكال التضاريس الأرضي) ساركس ديروو - ترجمة د. عبد الرحمن حميدة
- 16- التصحر - د. محمد ابراهيم حسن- مركز الاسكندرية للكتاب الاسكندرية
- 17- الدراسة الجيومورفولوجية مناهجها ووسائل البحث الحديثة منها مجلة كلية الآداب جامعة الاسكندرية- المجلد التاسع -1965.
- 18- سطح هذا الكوكب - حسن سيد احمد أبو العينين وجودة حسنين- بيروت 1986.
- 19- الجيولوجيا، حسن صادق- القاهرة.
- 20- الجيولوجيا الهندسية - فخري موسى وآخرون - القاهرة - 1986.
- 21- الجيولوجيا - فيرنسيد، و.ج. بولمان ا.م ترجمة محمد ابراهيم عطية.
- 22- قشرة الأرض - محمد صفى الدين- القاهرة - 1957.
- 23- مقدمة في علم البلورات والمعادن والصخور- محمد عبد الوهاب الشناوي - دار المعارف- القاهرة 1964م.
- 24- الجيولوجيا - يحيى محمد أنور، ومحمد العربي فوزي - القاهرة.

















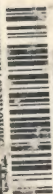
# علوم الأرض

- الطبقات الرسوبية
- الصخور النارية
- الطبقات الصلبة بين الطبقات
- السيت والجرانيت
- الكتل النارية المسكونة ومناطق
- الضعف الجيولوجية في المستقر

خليفة أحمد كميل



Bibliotheca Alexandrina



067255

دار أصفاء للطباعة والنشر والتوزيع

عمّان - شارع السلط - مجمع المحيوس التجاري  
تلفاكس: 962 6 4612190 ص.ب 822762 عمان 11192 الأردن

www.darsafa.net E-mail:safa@darsafa.net

